

VANESSA CANAVESI

**QUANTIFICAÇÃO DE MACRONUTRIENTES EM FLORESTA
OMBRÓFILA MISTA MONTANA UTILIZANDO DADOS DE CAMPO E
DADOS OBTIDOS A PARTIR DE IMAGENS DO SATÉLITE IKONOS II**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Manejo Florestal, Universidade Federal do Paraná, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais.

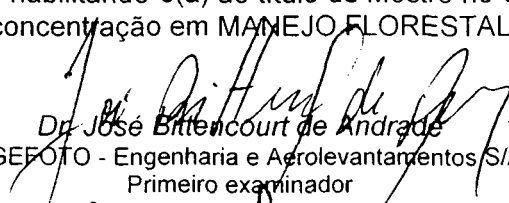
Orientador: Dr. Flávio Felipe Kirchner

CURITIBA
2004

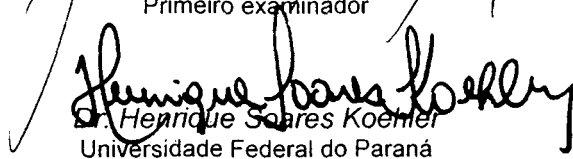
PARECER

Defesa nº. 549

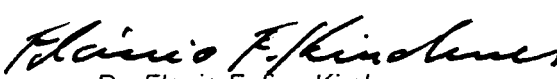
A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, do Setor de Ciências Agrárias, da Universidade Federal do Paraná, após arguir o(a) mestrando(a) *Vanessa Canavesi* em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "**Quantificação de macronutrientes em Floresta Ombrófila Mista Montana utilizando dados de campo e dados obtidos a partir de imagens do satélite Ikonos II**", é de parecer favorável à **APROVAÇÃO** do(a) acadêmico(a), habilitando-o(a) ao título de *Mestre* no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em MANEJO FLORESTAL.



Dr. José Bittencourt de Andrade
ENGEFOTO - Engenharia e Aproveitamentos S/A
Primeiro examinador



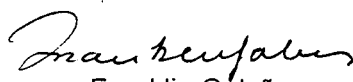
Dr. Henrique Soares Koehler
Universidade Federal do Paraná
Segundo examinador



Dr. Flavio Felipe Kirchner
Universidade Federal do Paraná
Orientador e presidente da banca examinadora



Curitiba, 13 de fevereiro de 2004.



Franklin Galvão

Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal

Aos meus pais por tudo que sempre fizeram
por mim e pelo amor incondicional.

Ao meu filho Victor pelo amor e felicidade
que me proporciona.

Às minhas irmãs pelos momentos de muita
alegria que tivemos juntas.

Dedico.

BIOGRAFIA DO AUTOR

VANESSA CANAVESI, filha de Alcides Canavesi e Maria José Canavesi, nasceu em São José dos Campos, Estado de São Paulo, no dia 04 de setembro de 1973.

Estudou o 1º Grau na Escola Municipal Palmyra Sant'Anna e foi concluído em 1987. O 2º Grau cursou no Colégio Técnico Industrial da Fundação Valeparaibana de Ensino, onde obteve o título de Técnica em Processamento de Dados em 1991, ambos realizados em São José dos Campos – SP.

Em 1993 ingressou no curso de Engenharia Florestal, na Universidade Federal de Viçosa, em Viçosa – MG, concluindo em 1998.

No período de 1999 a 2001 participou do Programa PROBIO e foi bolsista do CNPq. Avaliou as pressões antrópicas que vinham sofrendo os fragmentos de Floresta Estacional Semidecidual na região de Viçosa – MG e estudou os efeitos da fragmentação sobre a biodiversidade.

Em maio de 2002 ingressou no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal na Universidade Federal do Paraná para a realização do mestrado em Ciências Florestais, área de concentração em Manejo Florestal, o qual será concluído com a defesa desta dissertação.

Em março de 2004 ingressará no Curso de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto no Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais para a realização do doutorado.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná, pela oportunidade de realizar este trabalho;

Ao Profº Dr. Flávio Felipe Kirchner, pela orientação neste curso, pela amizade e pelo apoio em todas as horas e, principalmente, por ter apostado na minha capacidade.

Ao meu co-orientador Profº Dr. Luciano Farinha Watzlawick pela orientação e pela amizade.

Ao Profº Dr. Mauro Valdir Schumacher, pela orientação e pelas valiosas sugestões.

A CAPES pela bolsa de estudos concedida.

Aos meus pais, pelo apoio financeiro e por tudo que fizeram para que eu concluísse este mestrado.

Ao meu amigo Flávio Augusto Rolim, o principal responsável pela minha vinda à Curitiba, por ter me hospedado por “alguns dias” e por ter me ajudado tanto em todos os momentos do mestrado.

Ao Profº Dr. Henrique Koehler, pela grande ajuda nas análises estatísticas e pela amizade.

Ao amigo Emerson Roberto Schoeninger, pela amizade, pelo tempo dedicado, pelas aulas de ArcView e pela grande ajuda na elaboração dos mapas.

À minha grande amiga Mônica Acco, que sempre me ajudou em todas as horas, pela sua amizade, pela sua compreensão, pela cumplicidade, pela consideração e por todos os dias de alegria.

Aos meus amigos Keillah, Anderson, Moacir, Francisca, André e Pyramon, que sempre garantiram a alegria do laboratório de geoprocessamento.

Ao Reinaldo e Elionor, pela ajuda que sempre deram!

À minha amiga Tatiane e a minha irmã Aline que moraram comigo em 2003 e juntas dividimos muitos momentos importantes.

A todos os amigos que encontrei neste curso: Ana Célia, Rodrigo, Cacá, Assis, Rozane, Luís, Mário, Leite, Fernanda, Paula, Benício, Cubatão, Donivaldo...obrigada pelo companheirismo!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	vii
LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE ANEXOS.....	ix
RESUMO.....	x
ABSTRACT.....	xi
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 OBJETIVOS.....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	4
3.1 FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	4
3.2 AS PLANTAS E OS MINERAIS.....	6
3.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO.....	14
3.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	21
3.5 SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTIMATIVA DA BIOMASSA.....	23
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	26
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	26
4.1.1 Localização.....	26
4.1.2 Clima.....	27
4.1.3 Relevo.....	27
4.1.4 Geologia e Solos.....	27
4.1.5 Vegetação.....	27
4.2 COLETA DAS AMOSTRAS NO CAMPO.....	30
4.3 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA.....	31
4.4 QUANTIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES.....	32
4.5 CÁLCULO DOS NUTRIENTES POR PARCELA.....	32
4.6 LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS NO CAMPO E NA IMAGEM.....	34
4.7 PROCEDIMENTO COM AS IMAGENS.....	34
4.7.1 Descrições Técnicas do Sensor.....	34
4.7.2 Correção Geométrica DA Imagem IKONOS.....	35
4.7.3 Conversão dos Valores Numéricos Digitais de Radiância para Refletância.....	35
4.8 GERAÇÃO DAS IMAGENS COM OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO.....	37
4.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS.....	38
4.10 GERAÇÃO DOS MAPAS.....	39
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	40

5.1 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA	40
5.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS	41
5.3 CÁLCULO DOS NUTRIENTES.....	43
5.4 VALORES DE REFLECTÂNCIA	46
5.5 GERAÇÃO DAS EQUAÇÕES.....	47
5.6 GERAÇÃO DOS MAPAS DOS NUTRIENTES.....	48
6 CONCLUSÕES.....	56
7 RECOMENDAÇÕES	58
8 BIBLIOGRAFIA	59

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1	Mapa fitogeográfico do estado do Paraná.....	5
FIGURA 2	Esquema geral do fornecimento dos nutrientes pelo solo	6
FIGURA 3	Influência do ph do solo sobre a formação do solo, mobilização e disponibilidade de nutrientes minerais e as condições de vida no solo ...	7
FIGURA 4	Estrutura interna da folha.....	14
FIGURA 5	Comportamento espectral da vegetação na região do visível	15
FIGURA 6	Efeito de múltiplas camadas de folhas na refletância da vegetação.....	16
FIGURA 7	Características da refletância espectral típica para grama verde, grama morta ou senescente e solo seco.....	17
FIGURA 8	A refletância da folha no espectro eletromagnético.....	18
FIGURA 9	O efeito do conteúdo da umidade na refletância de folhas de milho.....	19
FIGURA 10	A relação inversa da refletância das folhas e as bandas de absorção de água.....	20
FIGURA 11	Mapa de localização da área de estudo.....	26
FIGURA 12	Estágios sucessionais da floresta ombrófila mista montana na área de estudo.....	28
FIGURA 13	Croqui da parcela para coleta de dados no campo	30
FIGURA 14	Distribuição hipotética das copas das árvores em uma parcela, com o tamanho do pixel 4x4m.....	33
FIGURA 15	Conteúdo de Nitrogênio nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro, PR	50
FIGURA 16	Conteúdo de Fósforo nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro, PR	51
FIGURA 17	Conteúdo de Potássio nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro, PR.....	52
FIGURA 18	Conteúdo de Enxofre nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro, PR.....	53
FIGURA 19	Conteúdo de Cálcio nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro, PR.....	54
FIGURA 20	Conteúdo de Magnésio nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro, PR.....	55

LISTA DE TABELAS

TABELA 1	OCORRÊNCIA, ABSORÇÃO, DISTRIBUIÇÃO, INCORPORAÇÃO E FUNÇÃO DE MACRONUTRIENTES.....	11
TABELA 2	ALGUNS INDICES DE VEGETAÇÃO E SUAS RESPECTIVAS FÓRMULAS.....	23
TABELA 3	ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DAS PARCELAS AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	29
TABELA 4	CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE IKONOS II.....	34
TABELA 5	BIOMASSA MÉDIA DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NAS PARCELAS COM DAP > 10 CM DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	40
TABELA 6	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO UTILIZANDO TODOS OS COMPONENTES DA ÁRVORE.....	42
TABELA 7	COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO UTILIZANDO SOMENTE AS FOLHAGENS.....	42
TABELA 8	CONTEÚDOS MÉDIOS DOS MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA EM TODOS OS COMPONENTES SOMADOS AMOSTRADOS NAS ESPÉCIES COM DAP > 10 CM DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA.....	43
TABELA 9	CONTEÚDOS MÉDIOS DOS MACRONUTRIENTES NA BIOMASSA DAS FOLHAS NAS ESPÉCIES COM DAP > 10 CM DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	44
TABELA 10	TEORES MÉDIOS DOS MACRONUTRIENTES NOS VÁRIOS COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS.....	45
TABELA 11	VALORES DE REFLETÂNCIA NO PIXEL MÉDIO EM CADA PARCELA	47
TABELA 12	EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA CADA NUTRIENTE	48

LISTA DE ANEXOS

ANEXO 1	CONTEÚDO DE NITROGÊNIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	62
ANEXO 2	CONTEÚDO DE ENXOFRE POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	63
ANEXO 3	CONTEÚDO DE FÓSFORO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	64
ANEXO 4	CONTEÚDO DE POTÁSSIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	65
ANEXO 5	CONTEÚDO DE CÁLCIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	66
ANEXO 6	CONTEÚDO DE MAGNÉSIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	67
ANEXO 7	CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	68
ANEXO 8	CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	68
ANEXO 9	CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTE NAS FOLHAS AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	69
ANEXO 10	CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTE NAS FOLHAS AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA	69
ANEXO 11	RELAÇÃO DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA	70

RESUMO

Este estudo foi realizado na Floresta Ombrófila Mista, região de General Carneiro, Estado do Paraná. O objetivo principal deste trabalho foi desenvolver uma metodologia para estimar os macronutrientes (N, P, K, S, Ca e Mg) presentes em uma floresta nativa, utilizando dados espectrais provenientes de satélite de alta resolução, IKONOS II, e dados de campo. As amostras de biomassa foram coletadas em 20 parcelas distribuídas em vários estágios sucessionais da floresta. Os teores de nutrientes em cada espécie foram obtidos em análises de laboratório e a quantificação por parcela foi feita multiplicando-se estes teores pela biomassa seca. Por meio de análise estatística relacionaram-se as quantidades de nutrientes nas parcelas com os dados obtidos nas imagens de satélite. Os valores de reflectância nas bandas MS-1, MS-2, MS-3, MS-4 e os índices de vegetação NDVI, SAVI e Razão de Bandas entraram no modelo como variáveis independentes e os nutrientes como variáveis dependentes. Os dados foram ajustados por meio de análise de regressão e utilizando-se o método de eliminação de variáveis *stepwise* gerou-se as equações alométricas, as quais permitiram que os dados fossem extrapolados para a área toda. O resultado final foi o mapeamento dos macronutrientes e quantificação da área nas diferentes classes de nutriente.

Palavras-chave: macronutrientes, sensoriamento remoto, Floresta Ombrófila Mista, *Araucaria angustifolia*.

ABSTRACT

This study was carried out in a *Mixed Ombrofila Forest* in a Central region of Parana State. The main objective was to develop a methodology to estimate macronutrients (N, P, K, S Ca and Mg) content in the pristine forest using spectral data from high resolution Ikonos II satellite and field data. Samples for biomass estimates were collected in 20 plots distributed over several growth stages of secondary forest. Nutrient contents in each species were obtained from analysis in a laboratory and total amount in the plots was calculated by multiplying nutrient concentration by dry biomass. Statistical analysis provided the nutrient content and satellite data relation. The reflectance of MS-1, MS-2, MS-3, MS-4 bands and NDVI, SAVI e band ratio were input in the model as independent variables. Nutrients content were the dependent variables. Data were fitted by regression analysis and stepwise were used to eliminate variables providing allometric equation for the estimates of entire area. The final results were nutrient mapping e area evaluation for different nutrient classes.

Key words: macronutrients, remote sensing, *Mixed Ombrophilous Forest*, *Araucaria angustifolia*.

1 INTRODUÇÃO

Os estudos envolvendo quantificação de biomassa de maneira indireta, ou seja, não destrutiva, está em um processo inicial. Em florestas plantadas, o entendimento do ciclo do carbono, nitrogênio e outros nutrientes, têm feito com que a exploração florestal inove seus princípios. Já é sabido que grande parte dos nutrientes presentes em uma árvore se concentra nas folhas, galhos e casca e a quantificação dos nutrientes nestes componentes tem contribuído para que a exploração florestal seja feita de uma maneira mais racional, onde restos de culturas que antes eram descartados, sejam incorporados ao solo, diminuindo assim a degradação deste e a demanda por fertilizantes. Nas florestas nativas é importante saber a quantidade de nutrientes que são fixados pelas plantas e qual o ganho que o meio ambiente está tendo com a preservação destes ecossistemas.

Um fator que tem afetado a competitividade entre espécies arbóreas é a mudança climática. Esta é a maior causa de distúrbios em ecossistemas de florestas naturais e plantadas. A ciclagem de nutrientes é largamente afetada pelas mudanças climáticas. O aumento da temperatura e da precipitação provavelmente contribuirá para acelerar a ciclagem de nutrientes, e obviamente a diminuição da precipitação trará um efeito negativo. O aquecimento e a elevação dos níveis de CO₂ irão afetar a decomposição. Nesse contexto a relação C:N na serapilheira tem importância crucial. A aplicabilidade destes resultados depende da exatidão dos modelos utilizados para prever o clima futuro em uma certa região. Mudanças climáticas podem causar alterações na produtividade florestal e o aumento na mortalidade das árvores, causadas principalmente pela variação na precipitação. A alta temperatura do ar e baixa precipitação durante a estação de crescimento reduzem as taxas de produção e aumentam a mortalidade até mesmo em altitudes mais elevadas, onde há precipitações médias elevadas e a temperatura média é relativamente baixa (NILSSON *et. al*, 1995)

Os mesmos autores dizem ainda que fatores climáticos têm influência profunda na ciclagem de nutrientes em ecossistemas florestais, e neste contexto a preocupação relacionada às mudanças climáticas se torna global. Uma elevação da temperatura pode acelerar os processos dentro de um ecossistema, com possíveis efeitos no ciclo dos nutrientes, podendo aumentar a lixiviação dos elementos. Poderia causar também

mudanças na disponibilidade de água o que afetaria diretamente a ciclagem de nutrientes e o crescimento das árvores.

Para que as florestas sejam perenes devemos observar a ciclagem de nutrientes no sistema solo-planta. A partir de uma certa idade, a árvore começa a perder folhas e galhos, especialmente no terço inferior do caule, pelo sombreamento causado pelos galhos superiores ou por outras árvores. Parte dos nutrientes exportados do solo para suprir as necessidades da planta até então, começam a voltar para o solo na forma de serapilheira ou *litter*. A decomposição desta camada é que origina o ciclo biogeoquímico.

Os macronutrientes Nitrogênio, Enxofre, Potássio, Fósforo, Cálcio e Magnésio são utilizados em grandes proporções pelas plantas e representam mais de 0,1 % da matéria seca. Eles são componentes do protoplasma e de enzimas. Participam de metabolismos, como a fotossíntese e a ativação de enzimas, regulam o crescimento em altura e diâmetro e o conteúdo de água dentro das plantas.

Levantamentos têm sido feitos em florestas para estimar biomassa e nutrientes. A quantificação de biomassa se dá principalmente por métodos destrutivos, onde a árvore é cortada e todas as suas partes (caule, galhos, folhas, flores, frutos e raízes) são pesadas e secas, podendo ser incluídos o sub-bosque e a serapilheira. Pelas análises deste material pode-se obter dados sobre carbono e nutrientes presentes nos indivíduos vivos e no material que a floresta está devolvendo ao solo (serapilheira). Este método se torna oneroso o que resulta em um número reduzido de unidades amostrais.

Hoje há também o método indireto de quantificação de biomassa, onde as imagens de satélite são utilizadas como ferramenta para a obtenção de tais estimativas. Sabendo-se os teores de nutrientes nas espécies amostradas nas parcelas e a biomassa produzida por cada espécie pode-se estimar o conteúdo destes nutrientes para uma área como um todo.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Este estudo teve como objetivo desenvolver uma metodologia para estimar as quantidades de macronutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista, utilizando imagens de satélite IKONOS e dados de campo.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Avaliar a eficiência de utilização de imagens de satélite de alta resolução na estimativa de nutrientes;
- b) Ajustar os dados obtidos nas coletas de campo e dados provenientes de satélite pela análise de regressão;
- c) Por meio das equações alométricas ajustadas, gerar imagens classificadas da área de estudo;
- d) Criar mapas das quantidades de macronutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 A FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Também conhecida como “Mata de Araucária” ou “Pinheiral” é um tipo de vegetação do Planalto Meridional, onde ocorria com maior frequência. Segundo LEITE (1990) a concepção da Floresta Ombrófila Mista se procede da ocorrência da mistura de flores de diferentes origens, definindo padrões fitofisionômicos típicos, em zona climática tipicamente pluvial.

A área de dispersão natural da araucária brasileira ou pinheiro-do-paraná (*Araucaria angustifolia*), demonstra haver sofrido expansão e regressão ao longo do tempo geológico, em função das flutuações climáticas, conforme mostram achados fósseis.

A araucária possui seu ponto mais setentrional de ocorrência conhecida na serra do Caparaó, local aonde chegou em períodos climáticos favoráveis do quaternário. Em altitudes inferiores de 800 m, retrata-se um estágio de substituição intensa, onde em geral a araucária não mantém seu ciclo natural de desenvolvimento, a qual constitui o único representante da flora de origem temperada. Todo o contingente florístico, compõe-se de espécies características das regiões vizinhas (Florestas Estacionais e Ombrófila Densa).

A área mais típica e representativa da Floresta Ombrófila Mista é das altitudes superiores a 800m, principalmente dos terrenos alto montanos.

Segundo LEITE (1990), no clima atual, esta formação teve condições de se estender pelos três estados do Sul do Brasil, em uma superfície aproximada de 175000km², ocupando os mais diferentes tipos de relevo, solos e litologias, geralmente em latitudes maiores que 23° e altitudes superiores a 500 m, e em situações afastadas das influências marítimas.

Nesse ecossistema se encontra o pinheiro-do-paraná, (*Araucaria Angustifolia*), pinheiro-bravo (*Podocarpus sellowii*), imbuia (*Ocotea porosa*), canela lajeana (*Ocotea pulchella*), canela sassafrás (*Ocotea pretiosa*), e vassourão preto (*Vernonia discolor*). O dossel não é muito diversificado, quase sempre dominado pela araucária, uma Lauraceae e uma Myrtaceae logo abaixo, e em seguida uma série de outras.

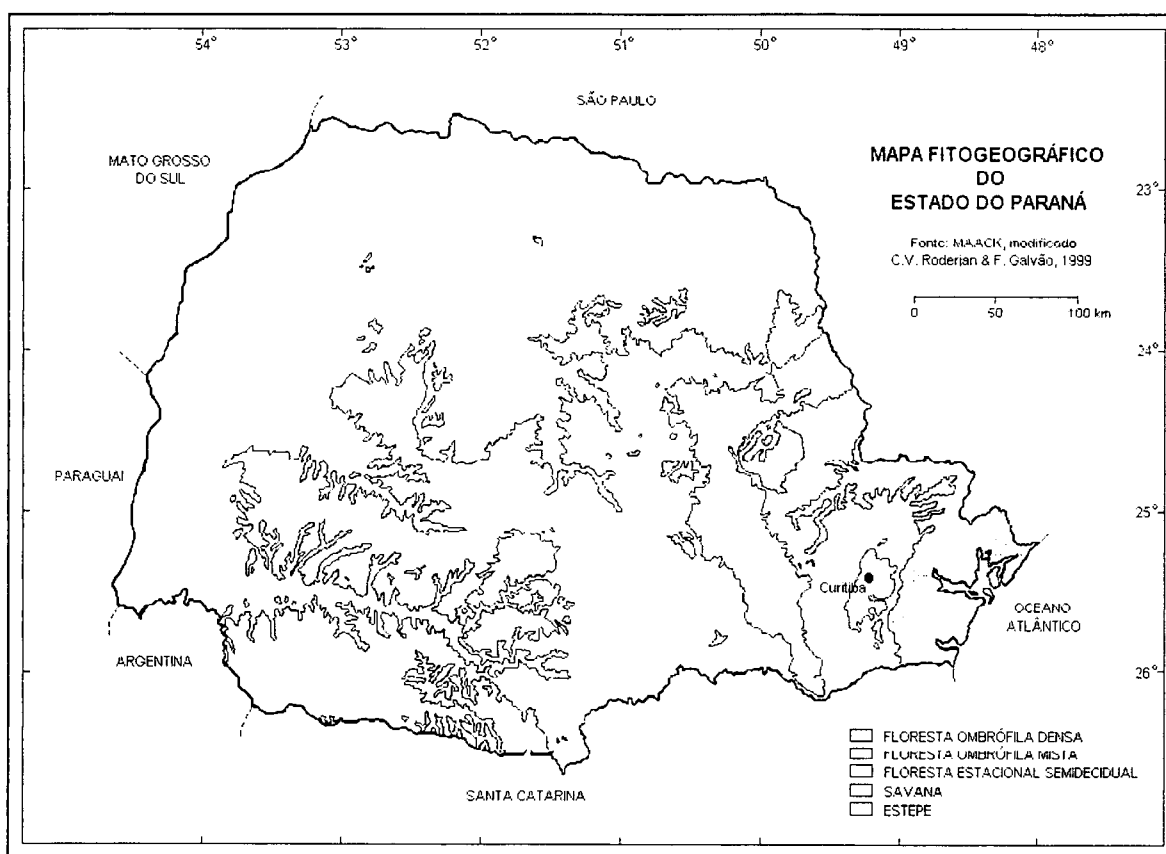
A Floresta Ombrófila Mista (FOM) possui suas variações: FOM Aluvial, FOM submontana, FOM Montana e FOM Alto Montana as quais se distinguem basicamente pela altitude em que ocorrem e pela presença de lençol freático próximo a superfície (aluvial).

A forma aluvial ocorre em áreas ribeirinhas, ocupando sempre os terrenos aluvionares nas serras costeiras ou nos planaltos. É dominada pela *Araucaria angustifolia*, associada a ecótipos que variam de acordo com as altitudes de ocorrência. As espécies *Podocarpus lambertii* e *Drymis brasiliensis* estão associadas a esta formação e são típicas das altitudes (IBGE, 1992).

À medida que a altitude diminui a *Araucaria angustifolia* associa-se a vários ecótipos de Angiospermas da família Lauraceae, destacando-se os gêneros *Ocotea*, *Cryptocarya* e *Nectandra* entre outros.

A Figura 1 mostra a distribuição atual da Floresta Ombrófila Mista no Estado do Paraná. Nota-se que ela faz divisa com todos os ecossistemas presentes no Paraná.

FIGURA 1 – MAPA FITOGEOGRÁFICO DO ESTADO DO PARANÁ.



Fonte: MAACK (1968) modificado por RODERJAN e GALVÃO (1999).

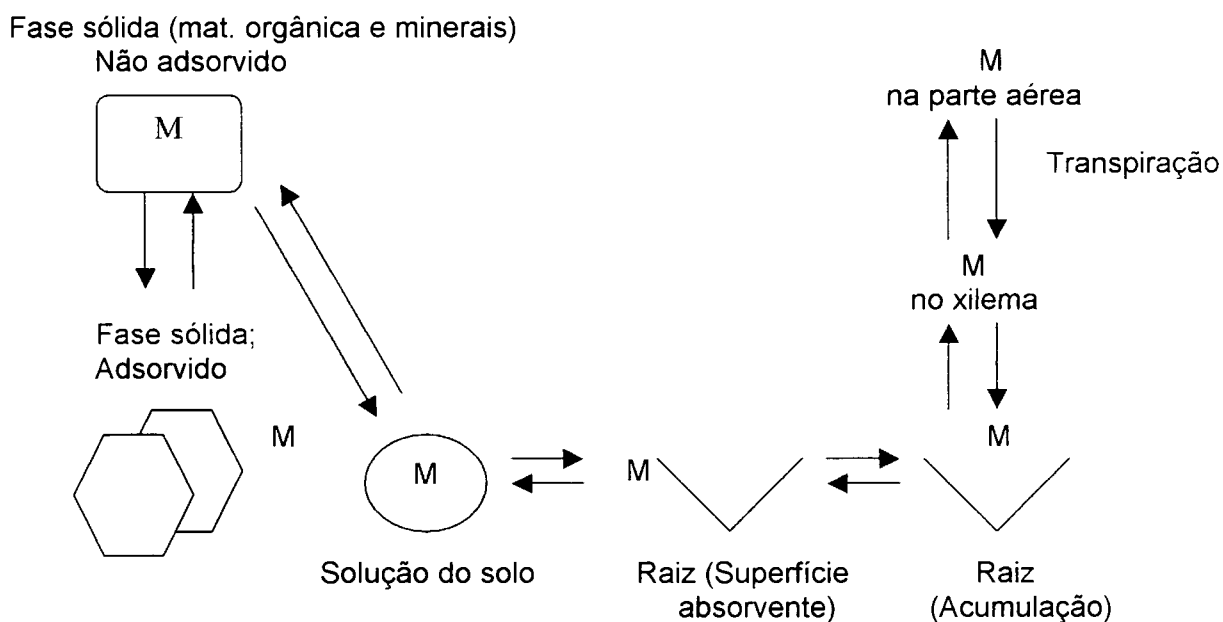
3.2 AS PLANTAS E OS MINERAIS

Os macronutrientes estão presentes principalmente nas partes sólidas do solo. Entre os primários temos o nitrogênio (NO_3^- , NH_4^+), o fósforo (H_2PO_4^- , HPO_4^{2-}) e o potássio (K^+). Já os secundários são o cálcio (Ca^{2+}), o magnésio (Mg^{2+}) e o enxofre (SO_4^{2-}). Eles estão presentes, em maior ou menor proporção no solo, dependendo da composição e estrutura da rocha em que o solo foi originado, dos resíduos orgânicos presentes no solo, bem como do clima e topografia do terreno (CERRI *et al.*, 2001).

A planta retira nutrientes do ar, da água e do solo. O carbono vem do ar, o hidrogênio vem da água e o oxigênio vem da água e do ar. Os demais elementos vêm do solo, o que o torna de importância vital para as plantas. Ele é o meio em que o homem mais consegue interferir, com adubações e correções de pH (MALAVOLTA, 1979).

Esse autor também explica de maneira prática como o elemento é absorvido e transportado pela planta, esquematizado na Figura 2.

FIGURA 2 - ESQUEMA GERAL DO FORNECIMENTO DOS NUTRIENTES PELO SOLO ONDE M=NUTRIENTE



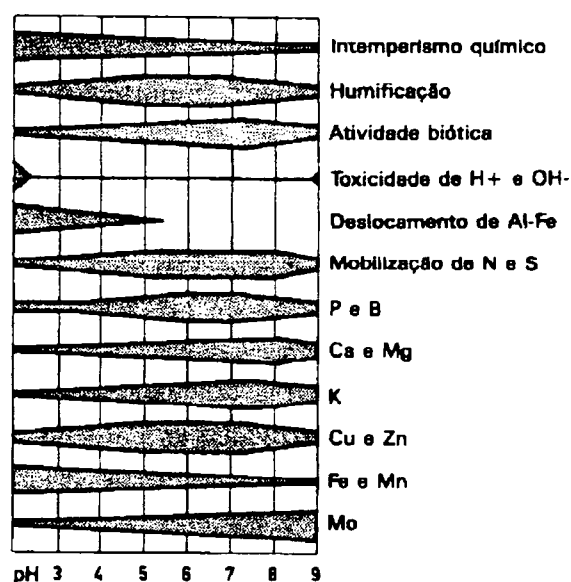
Fonte: Modificado por Fried & Broeshart (1967) citado por Malavolta (1979).

O elemento M contido na matéria orgânica ou em minerais primários do solo passa para a superfície de outros minerais (geralmente argilas) pelo processo de intemperismo. Os microorganismos decompõem a matéria orgânica (mineralização) libertando os nutrientes

que passam para a solução do solo como sais dissolvidos. Na solução do solo juntam-se os nutrientes destacados da fase sólida com os provenientes da mineralização da matéria orgânica. Quando eles entram em contato com a raiz são absorvidos e o sistema de vasos condutor transporta os nutrientes para a parte aérea da planta.

Os nutrientes no solo podem ocorrer na forma dissolvida ou ligada, sendo a última a que mais ocorre (98% dos casos). Podem estar ligados a detritos orgânicos, húmus e compostos inorgânicos ou incorporadas em substâncias minerais. O pH do solo é um fator importante do qual depende a disponibilidade de nutrientes para as plantas, pois age sobre processos de intemperismo, humificação e mobilização de nutrientes e troca de íons (LARCHER, 1986). A Figura 3 mostra a relação entre pH e estes processos citados anteriormente.

FIGURA 3 -INFLUÊNCIA DO pH DO SOLO SOBRE A FORMAÇÃO DO SOLO, MOBILIZAÇÃO E DISPONIBILIDADE DE NUTRIENTES MINERAIS E AS CONDIÇÕES DE VIDA NO SOLO (a largura das faixas indica a intensidade do processo ou a disponibilidade dos nutrientes).



Fonte: Truog modificado por Schoroeder (1947) citado por Larcher (1986)

Segundo o mesmo autor, a absorção de nutrientes do solo pelas raízes das plantas se dá de três maneiras: pela absorção de íons nutrientes da solução do solo (íons diretamente disponíveis, com baixas concentrações no solo: NO₃⁻, SO₄⁺, Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ e Fosfato); pela absorção por troca de íons de nutrientes adsorvidos (trocando íons de H⁺ e HCO₃⁻ as raízes obtêm íons de nutrientes) e a liberação de estoques de nutrientes ligados

por meio de íons H^+ excretados e ácidos orgânicos. Este último depende da intensidade da respiração, da temperatura, do tipo de íon e da espécie vegetal. Os elementos nutritivos são incorporados em maior ou em menor quantidade dependendo do estágio de crescimento da planta. Durante o crescimento da planta é que grande parte destes nutrientes é incorporada, e uma menor quantidade é requerida quando a planta atinge a maturidade. Nesta fase a taxa de absorção de minerais é menor do que a de absorção de matéria orgânica.

O transporte de nutrientes dentro da planta se inicia quando os minerais atingem o xilema na raiz e caminham de forma ascendente (no sentido da corrente respiratória) para que ocorra sua distribuição. Os minerais passam do xilema para o floema através do câmbio, permitindo assim que parte dos minerais fique retida ou desviando-os para que não sejam totalmente levados para a corrente respiratória. A partir do momento em que o nutriente entra para o floema ele estará livre para circular em todas as direções: para baixo, para cima e para os lados. A chegada dos minerais até as folhas não faz com que a circulação termine, eles estão sempre se movimentando dentro da planta. A mobilidade dos elementos dentro do floema é a seguinte: $N > K > Na > P > Cl > S > Zn > Cu > Mn > Fe > Mo > Mg$; o Ca e o B são imóveis. A circulação destes elementos dentro da planta é muito variável, desde sua absorção pelas raízes até a sua redistribuição, quando o elemento atinge as folhas (MALAVOLTA, 1979).

As plantas possuem mecanismos para a absorção, acumulação e exclusão de nutrientes. A absorção consiste na entrada de nutrientes no citoplasma da raiz, como foi mostrado na Figura 2. A acumulação é a entrada de íons de nutrientes na direção oposta ao gradiente de concentração, fazendo com que a concentração de íons dentro das células (protoplasma) seja maior do que da parte externa das células (AWAD, 1983).

MALAVOLTA (1979) relata que as células também podem excretar íons ou substâncias orgânicas. Este processo poderá ocorrer de 3 maneiras: por difusão, troca iônica ou excreção ativa. A quantidade de elemento excretada raramente ultrapassa 1/10 do que está sendo absorvida ao mesmo tempo. Este mecanismo serve tanto para eliminar elementos que não serão mais utilizados em uma certa fase da planta, para alteração do pH com a finalidade de solubilizar substâncias insolúveis ou para proteger a planta de altas concentrações de algum elemento que poderia se tornar tóxico.

Um levantamento que pode ser feito é a determinação da composição dos nutrientes presentes nas cinzas de espécies florestais. Os macronutrientes variam de acordo com a espécie, idade e órgãos da planta. O tipo de solo também influencia na quantidade de cinzas produzidas pela vegetação bem como os nutrientes nela presentes. A análise das cinzas permite ainda perceber deficiências nutritivas e fertilização imprópria das culturas. Os

elementos inorgânicos podem estar nos estados nutritivos de deficiência, adequado ou excessivo. Nas concentrações excessivas eles podem se tornar tóxicos para as plantas (KALLE, 1958; FINCK, 1968; FORTESCUE E MARTEN, 1970 citados por LARCHER 1986).

Outra metodologia foi apresentada por MILLER (1984). Foram pesados e quantificados os nutrientes de diferentes componentes da serapilheira em uma plantação de *Pinus nigra var.maritima*, com 40 anos de idade e 11 m de altura. As folhas eram responsáveis por 3290 Kg/ha.ano de matéria seca; onde 23,3 Kg/ha.ano era de N; 2,40 Kg/ha.ano de P e 7,0 Kg/ha.ano de K. Já os galhos contribuíam com 235 Kg/ha.ano da matéria seca; 0,8 Kg/ha.ano de N; 0,07 Kg/ha.ano de P e 0,1 Kg/ha.ano de K.

Os estudos realizados por SANTOS (1989), em uma floresta tropical subcaducifólia do interior do Paraná, demonstraram que as concentrações minerais presentes nas folhas da serapilheira seguem a seguinte ordem de grandeza: $Ca > N > K > Mg > S > P$, o mesmo acontecendo para os galhos, sendo as folhas responsáveis por 60,64% dos nutrientes presentes na serapilheira e os caules por 24,50%. Isto mostra o quanto é importante o manejo adequado das florestas para evitar maiores desgastes do solo e melhor aproveitamento dos nutrientes.

NILSSON e WIKLUND (1995) realizaram um estudo com a espécie *Picea abies* onde foram quantificados os nutrientes em diversos compartimentos da árvore. Parcelas foram locadas no campo e utilizou-se o método destrutivo para coletar as amostras. Foram separadas acículas em diferentes classes de idade, madeira do fuste, casca do fuste, galhos vivos, galhos mortos, serapilheira contendo acículas e serapilheira com outros elementos. Foram medidas 16 árvores incluindo 5 árvores com o diâmetro médio (M), 3 árvores com M -1 desvio padrão, 2 com M -1.5 desvio padrão, 3 com M +1 desvio padrão e 3 com M +2 desvios padrão. Foram amostrados galhos e o tronco (5 discos em 5 alturas diferentes), todos os cones por árvore, todos os galhos mortos (separados abaixo e acima da base da copa). As amostras foram secas até atingirem um peso constante. As acículas foram submetidas a uma temperatura de 85° C e os discos de madeira e os galhos a 100° C. As concentrações de P, K, Mg, Ca e S foram determinadas através do espectrômetro (ICP, *Perkin Elmer 2 Emission Spectrometer*).

Os dados provenientes das amostras coletadas por esses autores foram usados para encontrar as equações alométricas para a biomassa em função do diâmetro a altura do peito, altura da árvore, altura da base da copa e o comprimento da copa. As equações juntamente com estes dados foram usados descrever a biomassa das acículas, galhos vivos, galhos mortos, madeira do fuste e casca do fuste.

A Tabela 1 mostra como os macronutrientes são absorvidos pelas plantas, onde eles se acumulam, em que processos são utilizados e quais os principais sintomas no caso de deficiência do nutriente.

Modelagens de alguns ciclos, como do carbono e nitrogênio, já estão sendo realizadas a partir de medições no campo comparado com dados de imagens de satélite (LACRUZ *et al.*, 2001). Técnicas de sensoriamento remoto têm sido utilizadas na área florestal, incluindo trabalhos de quantificação de biomassa e carbono, podendo-se assim estimar a quantidade de carbono que as florestas estão fixando. A utilização de técnicas envolvendo imagens de satélite e estimativas de biomassa ainda são pouco empregadas, seja pela heterogeneidade das florestas ou pela dificuldade de aquisição de imagens de certas áreas.

TABELA 1 – OS MACRONUTRIENTES NAS PLANTAS

Bioelemento	Forma de ligação no solo	Forma acessível no solo	Absorvido como	Incorporação na planta	Função na planta	Sítios de acumulação	Capacidade de transporte	Sintomas de deficiência
N	Organicamente ligado, nitrato	Suprido por decomposição microbiana; NH_4^+ absorvido sobre minerais de argila e húmus; NO_3^- em solução	NO_3^- , NH_4^+ , uréia	Livre como íons NO_3^- (vacúolos) em compostos orgânicos, em proteínas, ácidos nucléicos, metabólitos secundários	Componente essencial do protoplasma e de enzimas	Rebentos jovens, folhas, gemas, sementes, órgãos de reserva	Boa, sobretudo na forma ligada orgânica-mente	Enfezamento ou nanismo; aparência esguia; razão rebento: raízes desviadas para as raízes; amarelecimento prematuro das folhas velhas, às vezes avermelhamento
P	Organicamente ligado, fosfatos de Ca, Fe, Al	Como PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , relativamente insolúvel, adsorvido e em complexos quelatos. Leve liberação microbiana	HPO_4^{2-} , HPO_4^-	Livre como íon, em compostos de ésteres, nucleotídeos fosfatídeos e fitina	Metabolismo basal e síntese - fosforilação	Mais nos órgãos reprodutores do que nos vegetativos (grãos de pólen)	Boa, na forma ligada orgânica-mente	Perturbação dos processos reprodutores (floração retardada), enfezamento, descoloração verde-escura ou bronze-violeta das folhas e das pontas secas das acículas das coníferas

TABELA 1 – OS MACRONUTRIENTES NAS PLANTAS

S	Organicamente ligado, minerais contendo enxofre, sulfatos de Ca, Mg e Na	SO ₄ ²⁻ prontamente solúvel, pouco adsorvido	SO ₄ ²⁻ do solo (SO ₂ do ar)	Livre como íon, ligado como grupo SH- ou SS- e como éster, em proteína, coenzimas, metabólitos secundários	Componente do protoplasma e enzimas	Folhas, sementes	Boa na forma orgânica, pobre como íon	Semelhante à deficiência de N, clorose intercostal das folhas jovens
K	Feldspato, mica e minerais de argila	Adsorvido > dissolvido	K ⁺	Dissolvido como íon (sobretudo no suco celular) e adsorvido	Efeito coloidal (promove hidratação) Sinergismo com: NH ₄ ⁺ , Na ⁺ . Antagonismo com Ca ²⁺ . Ativação de enzimas (fotossíntese nitrato-redutase), osmorregulação (estômatos)	Zonas de divisão, tecido jovem, parênquima da casca, sítios de metabolismo intenso	Boa	Balanço hídrico perturbado, extremidades secas, enrugamento das margens das folhas mais velhas, acículas das coníferas velhas caem prematuramente, apodrecimento da raiz

TABELA 1 – OS MACRONUTRIENTES NAS PLANTAS

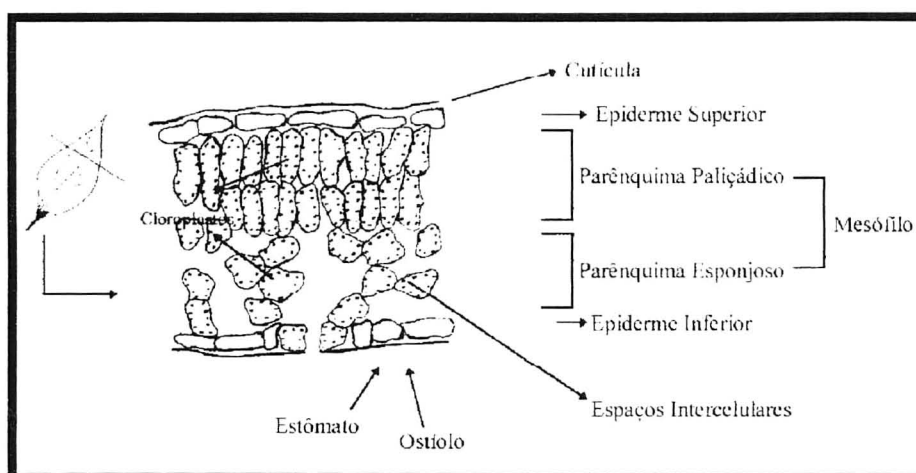
Mg	Carbonato (dolomita), silicato (augita, hornblenda, olivina), cloreto, sulfato	Dissolvido > adsorvido; deficiente em solos ácidos	Mg ²⁺	Como íon dissolvido e adsorvido, ligado em complexos, organicamente ligado na clorofila e pectatos, componentes de enzimas e ribossomos	Regulação da hidratação (Antagonismo com Ca ²⁺); metabolismo basal (fotossíntese, transferência de fosfatos); sinergismo com: Mn, Zn	Folhas	Boa em parte	Crescimento enfezado, clorose internerval das folhas velhas
Ca	Carbonato, gesso, fosfato, silicato (feldspato, augita)	Adsorvido > dissolvido; deficiente em solos muito ácidos	Ca ²⁺	Como íon; como sal dissolvido; cristalizado e incrustado como quelatos; organicamente ligado em pectatos	Regulação da hidratação (antagonismo com: K ⁺ , Mg ²⁺); ativador de enzimas (amilase, ATPase), regulador do crescimento em extensão basal	Folhas, casca da árvore	Muito pobre	Perturbação no crescimento por divisão (células pequenas), extremidades secas, deformação das folhas, crescimento das raízes prejudicado

Fonte: LARCHER (1980) citado por LARCHER (1986).

3.3 COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO

As diferentes formas de vegetação agem diferentemente na absorção e reflectância das ondas do espectro eletromagnético. Para se entender porque a vegetação reflete mais certos comprimentos de onda é necessário primeiro considerar as propriedades de reflectância de uma folha individual. A folha é constituída de uma estrutura fibrosa de matéria orgânica, dentro da qual há pigmentos, células contendo água e espaços de ar (Figura 4). Cada um destes três elementos: pigmentação, estrutura fisiológica e conteúdo de água possuem efeito nas propriedades de reflectância, absorvância e transmitância da folha verde (CURRAN, 1986).

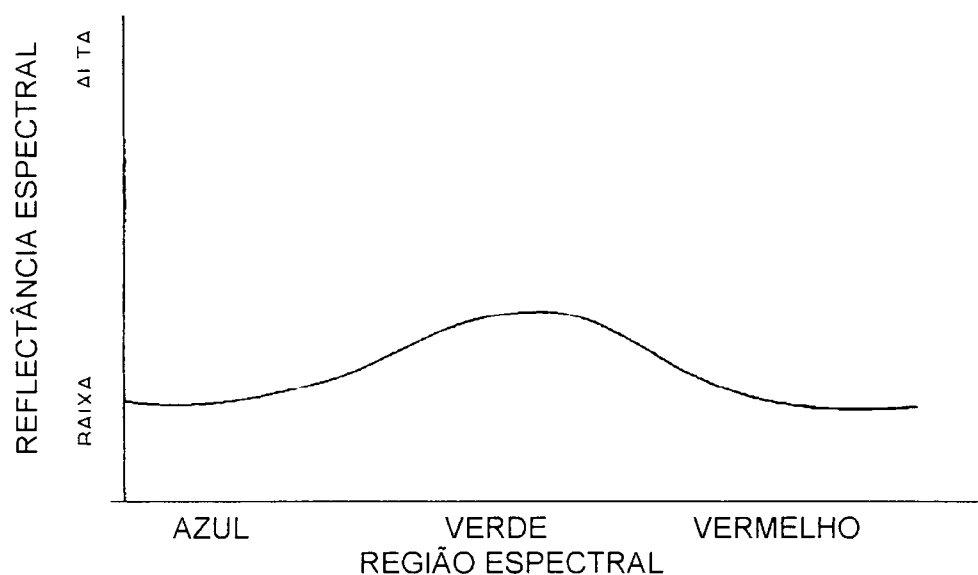
FIGURA 4 – ESTRUTURA INTERNA DA FOLHA



Fonte: ASSUNÇÃO e FORMAGGIO (1989)

A cobertura vegetal sadia tem uma alta interação com energia na região de comprimento de ondas visível e infravermelho próximo. A região do visível (0,4 a 0,7 μ m) é a parte do espectro eletromagnético utilizada pelas plantas para a fotossíntese, isto explica a forte absorção de energia nestes comprimentos de onda, e por consequência baixa reflectância e baixa transmitância. Esta alta absorção está concentrada na região do azul e do vermelho. A luz verde é absorvida pelas plantas em menor quantidade do que as luzes azul e vermelha, fazendo com que ela seja transmita mais do que estas últimas, o que dá a aparência verde às folhas (THIAM e EASTMAN, 1999; VERBYLA, 1995). A Figura 5 mostra o comportamento da vegetação na região visível do espectro.

FIGURA 5 - COMPORTAMENTO ESPECTRAL DA VEGETAÇÃO NA REGIÃO DO VISÍVEL.



Fonte: Adaptado de Verbyla, 1995.

HOFFER (1978) relata que as folhas das plantas refletem, absorvem e transmitem a radiação incidente. Estas relações são função do comprimento de onda λ e são mostradas na equação de balanço de energia:

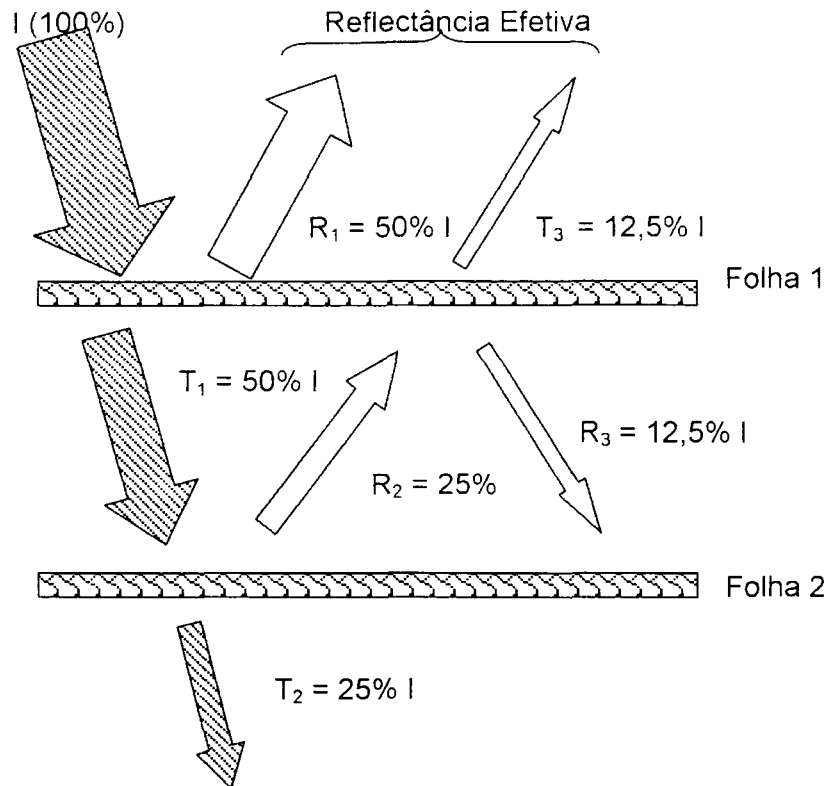
$$I_{\lambda} = R_{\lambda} + A_{\lambda} + T_{\lambda}$$

onde I é a energia incidente, R a energia refletida, A a energia absorvida e T a energia transmitida. Quando se compara a reflectância de uma única camada de folhas, camadas múltiplas podem causar uma reflectância maior (acima de 85%) na porção infravermelha do espectro. A energia transmitida através da primeira camada de folhas e, refletida para a segunda camada, é parcialmente transmitida de volta para a primeira camada.

Se considerarmos que a folha reflete aproximadamente 50% e transmite aproximadamente 50% da energia do infravermelho incidente, a energia transmitida para a segunda camada de folhas, metade é novamente transmitida para a primeira camada (25% da energia original) e metade é refletida para a terceira camada. Destes 25% de energia que é refletida da segunda camada, metade é novamente refletida para a terceira camada (12,5%) e metade retorna a primeira camada (12,5% da energia original). Quando se

aumenta o número de camadas de folhas, a energia total (transmitida + refletida) tende a aumentar (Figura 6).

FIGURA 6 – EFEITO DE MÚLTIPLAS CAMADAS DE FOLHAS NA REFLETÂNCIA DA VEGETAÇÃO, ONDE I = ENERGIA INCIDENTE.



Fonte: Adaptado de HOFFER (1978)

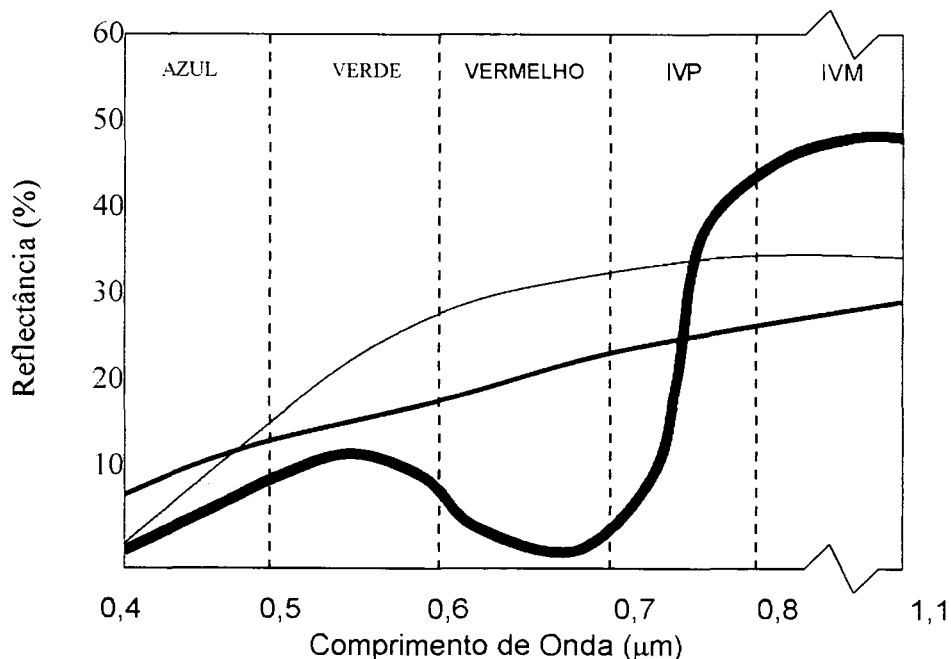
Nos comprimentos de onda do visível a maioria da energia que toca a folha verde é absorvida e muito pouca é transmitida através da folha. Conseqüentemente, a equação de balanço de energia indica que na porção visível do espectro a energia incidente que não foi absorvida será largamente refletida. A alta absorção nestes comprimentos de onda é devido as duas bandas de absorção da clorofila (azul e vermelha) e o pico de reflectância nesta região ocorre aproximadamente em $0,54 \mu\text{m}$, que é a região do verde.

Além da clorofila, as plantas possuem outros pigmentos como o caroteno e a xantofila (ambos amarelos) e a antocianina (pigmentos vermelhos). Os carotenos e as xantofilas estão presentes freqüentemente nas folhas verdes, mas absorvem energia apenas na banda azul do espectro (aproximadamente $0,45\mu\text{m}$). Como a clorofila está

presente nas folhas verdes e também absorve a luz azul, ela normalmente mascara estes pigmentos amarelos (HOFFER, 1978).

Características de reflectâncias espectrais típicas para vegetação verde saudável, vegetação morta ou senescente, e solo exposto seco são mostradas na Figura 7. A vegetação verde saudável reflete geralmente 40 a 50% da energia infravermelho incidente (0,7 a 1,1 μm), com a clorofila das plantas absorvendo aproximadamente 80 a 90% da energia incidente na região do visível (0,4 a 0,7 μm) do espectro. A vegetação senescente ou morta reflete uma parte maior da energia que a vegetação verde saudável ao longo do espectro visível (0,4 a 0,7 μm). Na região do infravermelho ocorre o inverso. A vegetação verde reflete mais que a vegetação senescente. Solos secos geralmente apresentam uma reflectância mais alta que a vegetação verde, porém está abaixo da reflectância da vegetação senescente na região do visível, enquanto que no infravermelho próximo, o solo seco geralmente tem a reflectância mais baixa que a vegetação verde. Muitos índices de vegetação são baseados no fato de que as diferenças são significantes na forma destas três curvas (JENSEN, 1996).

FIGURA 7 - CARACTERÍSTICAS DA REFLETÂNCIA ESPECTRAL TÍPICA PARA GRAMA VERDE, GRAMA MORTA OU SENESCENTE E SOLO SECO



Fonte: Adaptado de Jensen (1996) onde: Verde = MSS Banda 4, Vermelho = MSS Banda 5, IVP (Infravermelho Próximo) = MSS Banda 6 e IVM (Infravermelho Médio) = MSS Banda 7.

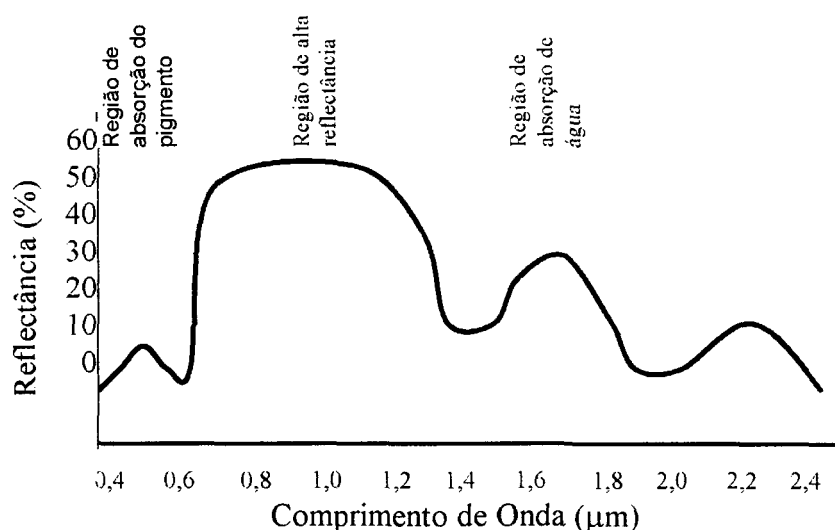
— Solo exposto seco — Grama morta — Grama verde

No infravermelho há um aumento significativo da reflectância quando se compara com a região visível do espectro eletromagnético (Figura 8). Nesta região a vegetação verde é caracterizada pela alta reflectância, alta transmitância e baixa absorptância. Estas quantidades podem variar com o tipo de vegetação, mas geralmente as plantas apresentam de 45 a 50 % de reflectância, 40 a 50 % de transmitância e 5 % de absorptância nos comprimentos de onda do infravermelho próximo (HOFFER, 1978).

A energia nesta região não é utilizada pela fotossíntese, então a estrutura interna das folhas é que é responsável pela alta reflectância (THIAM & EASTMAN, 1999). A estrutura interna das folhas da planta é muito complexa e é ela que controla a resposta espectral nesta porção do espectro. Estas diferenças são utilizadas para separar culturas, por exemplo (HOFFER, 1978).

A reflectância no infravermelho próximo poderá ser influenciada pelas variações na forma e orientação das folhas das plantas e pela quantidade de ar existente dentro da célula de cada folha. As variações dos valores de reflectância no infravermelho próximo são mais úteis do que os valores de reflectância no visível para distinguir tipos florestais como coníferas e folhosas (VERBYLA, 1995).

FIGURA 8 - A REFLETÂNCIA DA FOLHA NO ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO



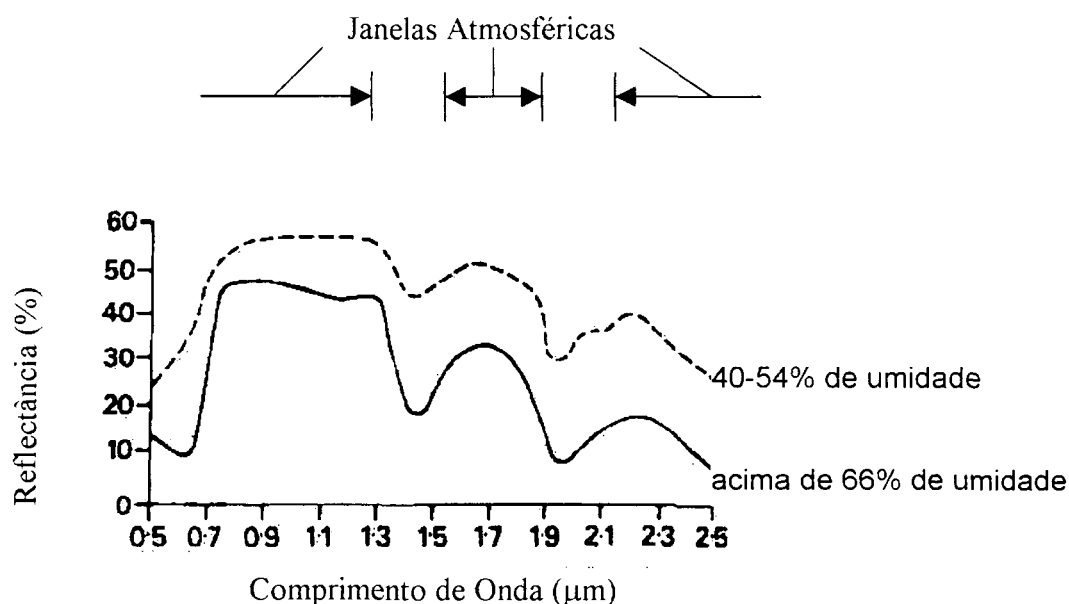
Fonte: Adaptado de Curran (1986)

GAUSMAN (1974) citado por CURRAN (1986), diz que a estrutura interna da face superior das folhas é a principal responsável pela resposta espectral das plantas nestes comprimentos de onda. As membranas e citoplasmas presentes no interior das folhas são

mais importantes do que células individuais e os espaços de ar contidos no mesófilo esponjosos da face inferior das folhas, também interferem na reflectância nesta região

O conteúdo de água presente nas folhas também afeta a reflectância, sendo mais acentuada nesta região do espectro (infravermelho). A reflectância da folha é reduzida como resultado das três bandas maiores de absorção de água que ocorrem nos comprimentos de onda de 1,4 μm , 1,9 μm e 2,7 e das duas bandas menores que ocorrem a 0,96 μm e 1,1 μm (Figura 9). A reflectância no interior das folhas nestas bandas de absorção de água é negativamente relacionada tanto para a quantidade de água na folha quanto para a espessura da folha. Entretanto a água da atmosfera também absorve radiação nestas bandas e por esta razão a maioria dos sensores operam nas três janelas atmosféricas que estão livres da absorção de água nos comprimentos de onda de 0,3 a 1,3 μm ; 1,5 a 1,8 μm e 2,0 a 2,6 μm . Nestes comprimentos de onda a radiação eletromagnética é sensível a umidade da folha. No infravermelho médio, picos de reflectância ocorrem 1,6 e 2,2 μm , também decorrentes as banda de absorção de água (HOFFER, 1978).

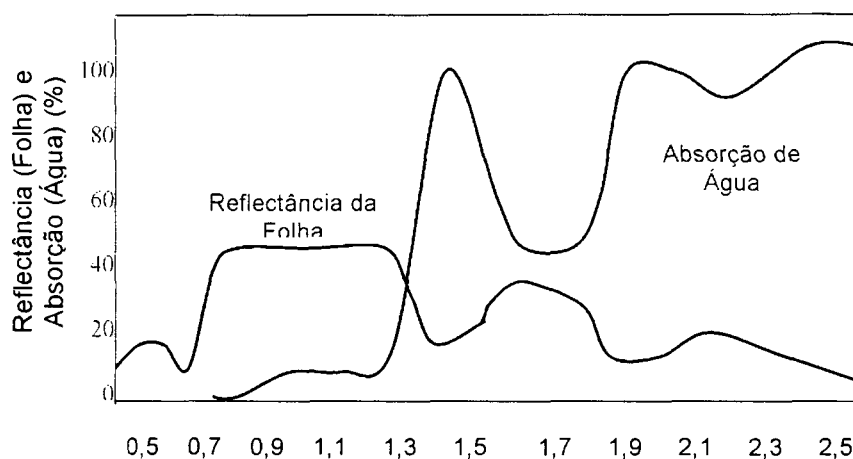
FIGURA 9 - O EFEITO DO CONTEÚDO DA UMIDADE NA REFLETÂNCIA DE FOLHAS DE MILHO.



Fonte: Adaptado de Hoffer e Johannsen (1969) citado por Curran (1986)

A Figura 10 mostra que a reflectância da folha na região do infravermelho médio e é inversamente relacionado à curva de absorção de água. Isto ocorre porque que a energia solar incidente na porção do infravermelho médio do espectro é absorvida pela vegetação em função da porcentagem de umidade contida na folha e da espessura da folha. Se o conteúdo de umidade nas folhas decresce, a reflectância no infravermelho médio aumenta marcadamente (HOFFER, 1978).

FIGURA 10 - A RELAÇÃO INVERSA DA REFLETÂNCIA DAS FOLHAS E AS BANDAS DE ABSORÇÃO DE ÁGUA.



Fonte: Adaptado de Hoffer (1978)

MOREIRA (2001) relata que além dos fatores morfológicos (densidade da cobertura vegetal, distribuição horizontal e vertical das folhas e ângulo de inserção foliar), fatores fisiológicos influenciam na resposta espectral das plantas. Dentre os fisiológicos temos idade da planta, déficit hídrico, tipo e espessura das folhas e nutrientes. Quanto mais velha for a planta, menos pigmento (especialmente clorofila) possuirá em suas folhas, o que resulta em maior reflectância nas regiões do visível e infravermelho médio. Quando a planta se encontra em situação de estresse hídrico ela fecha os seus estômatos o que reduz também a taxa fotossintética, conseqüentemente há uma queda na absorção de CO_2 atmosférico. Isto indica que plantas saudáveis refletem mais energia do que plantas em condições desfavoráveis. A luz que chega até as folhas influencia no seu tamanho e na sua espessura. Quanto maior a intensidade de luz, menor e mais fina será a folha, portanto plantas de sol e de sombra possuem resposta espectral diferente.

As condições de umidade do solo estão diretamente ligadas a disponibilidade de nutrientes das plantas, pois é pela água que os nutrientes se movimentam pelo solo e são absorvidas pelas raízes. Alguns elementos como o magnésio e o nitrogênio, que fazem

parte da molécula de clorofila, quando deficientes provocam uma diminuição na absorção da energia luminosa, devido à diminuição na produção de clorofila que é o principal pigmento responsável pela absorção da luz (MOREIRA, 2001).

Este forte contraste entre a energia refletida no vermelho e no infravermelho, é que tem sido foco para os estudos dos índices de vegetação usando sensoriamento remoto (THIAM & EASTMAN, 1999).

3.4 ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Há uma forma alternativa de se estimar a cobertura vegetal e suas condições com a utilização de técnicas de sensoriamento remoto. Uma das técnicas consiste em evidenciar a área vegetada na imagem utilizando os índices de vegetação. Este processo minimiza as bandas utilizadas no processamento da imagem e por meio destes índices pode-se obter informações sobre a vegetação, como estimar a cobertura vegetal, a biomassa, e a produtividade.

MOREIRA (2001) diz que os índices de vegetação podem ser utilizados para estimar parâmetros da radiação solar (radiação fotossinteticamente ativa absorvida) e o uso da radiação para produção de fitomassa e grãos. Os índices de vegetação diminuem a quantidade de dados a ser analisados, pois as informações sobre a vegetação foram maximizadas, podendo-se trabalhar com um menor número de bandas. Este trabalho foi desenvolvido basicamente para salientar a vegetação em relação aos solos, cidades, água entre outras feições.

A razão entre bandas na região do infravermelho e do vermelho do espectro visível tem sido útil nos estudos da cobertura vegetal e condições da vegetação, reduzindo assim os efeitos das variações das intensidades da iluminação solar. Esta razão também está sendo utilizada para monitorar picos de mudanças na vegetação sazonal, por exemplo para medir produtividade verde máxima e não biomassa máxima (HOWARD, 1991).

LILLESAND e KIEFER (1994) comentam que o equipamento AVHRR (*Advanced Very High Resolution Radiometer*) montado no satélite NOAA-12, tem sido muito utilizado para monitoramento da vegetação em grandes áreas. Várias combinações matemáticas têm sido usadas como indicadores da presença e condições de vegetação verde. Os mesmos autores dizem que os índices mais utilizados são o *Ratio Vegetation Index* (RVI) e o Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (IDVN) ou *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). As várias combinações matemáticas utilizadas pelo AVHRR nos Canais 1

(Vermelho) e 2 (Infravermelho Próximo) têm se mostrados indicadores sensíveis para a presença e condições da vegetação verde.

As áreas vegetadas possuem valores altos para ambos os índices (RVI e NDVI) porque a vegetação possui uma alta reflectância no infravermelho próximo e uma baixa reflectância na região do visível. Em contraste, nuvens, água e neve têm grande reflectância na região do visível e também no infravermelho próximo. Assim, estas feições rendem índices de valores negativos. Áreas de rochas e solo nu possuem reflectâncias similares nas duas bandas e o resultado do índice de vegetação é próximo de zero. O NDVI é mais utilizado que o IVR para o monitoramento da vegetação global porque o NDVI tem ajudado na compensação das variações das condições de iluminação ou ângulos solares, e superação de efeitos atmosféricos como nuvens, neblinas e aerossóis, superfícies com declive e outros fatores estranhos. Em áreas de áreas altamente vegetadas, o NDVI apresenta tipicamente valores entre 0,1 e 0,6 de acordo com a densidade e verdor da cobertura vegetal (LILLESAND e KIEFER, 1987).

Os valores de NDVI oscilam entre -1 e +1. Este índice permite identificar a presença de vegetação verde na superfície e caracterizar sua distribuição espacial bem como a evolução de seu estado ao longo do tempo, a qual é determinada pelas variações das condições climáticas reinantes. Sua interpretação deve levar em consideração os ciclos fenológicos anuais a fim de se distinguir as oscilações naturais do estado da vegetação das mudanças na distribuição espacial resultantes de desmatamentos ou demais formas de intervenção sobre a vegetação.

A Tabela 2 apresenta alguns índices de vegetação mais utilizados: RVI *Ratio Vegetation Index* ou Índice de Vegetação da Razão; NDVI *Normalized Difference Vegetation Index* ou Índice de Vegetação da Diferença Normalizada; TVI *Transformed Vegetation Index* ou Índice de Vegetação Transformado; TTVI *Thiam's Transformed Vegetation Index* ou Índice de Vegetação Transformado de Thiam; SAVI *Soil Adjusted Vegetation Index* ou Índice de Vegetação Ajustado para o Solo.

TABELA 2 - ALGUNS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO E SUAS RESPECTIVAS FÓRMULAS.

ÍNDICE	REFERÊNCIA	FÓRMULA
RVI	ROUSE (1974)	IVP / V
NDVI	ROUSE (1974)	$(IVP-V) / (IVP+V)$
TVI	DEERING (1975)	$(NDVI + 0,5)^{1/2}$
TTVI	PERRY e LAUTENSCHLAGER (1984)	$(ABS (IVDN + 0,5))^{1/2}$
SAVI	HUETE (1988)	$(IVP-V) / (IVP + V + L) * (1 + L)$

onde: V=Refletância no vermelho; IVP=Refletância no Infravermelho Próximo e L=Constante para minimizar a influência do solo.

Outro índice utilizado é o Índice de Área Foliar (IAF). A intensidade da reflectância depende do comprimento de onda utilizado e três componentes da cobertura vegetal: folhas, substrato e sombra. Folhas refletem fracamente os comprimentos de onda na faixa do azul e do vermelho. A reflectância dos substratos da vegetação (ou profundidade do solo) varia de acordo com a natureza do substrato (vegetação senescente, solos claros ou escuros ricos em matéria orgânica). A área relativa destes três componentes da cobertura determina a reflectância da cobertura total. Neste índice a refletância é negativamente relatada na região do vermelho, mas possui reflectância positiva no infravermelho próximo, e é calculado dividindo-se a área total das folhas pela área do terreno (LO, 1987).

O mesmo autor diz que a reflectância nos comprimentos de onda do infravermelho próximo é mais sensível às mudanças na vegetação verde em substratos com tonalidades mais escuras do que substratos mais claros, ocorrendo o inverso na região do vermelho. Outros fatores ambientais têm afetado a refletância da cobertura vegetal incluindo ângulos do sol e dos sensores. O ângulo do sol controla a área e a intensidade de sombra. O ângulo de visada do sensor determina a quantia de substrato (solo) visível para o sensor. Como o ângulo de visada se move na vertical, menos solo e mais vegetação se tornará visível.

3.5 SENSORIAMENTO REMOTO NA ESTIMATIVA DE BIOMASSA

LACRUZ *et al.* (2001) realizaram um trabalho no Parque Nacional de Tapajós, utilizando imagens de satélite TM/Landsat e outros materiais de apoio. A partir da análise das imagens e da classificação resultante foi possível a identificação de áreas amostrais na região em estudo. As áreas identificadas apresentavam características específicas como presença de bambu, localização da parcela no alto ou baixo platô, proximidade ao rio Tapajós, entre outras. Estas características podem implicar em diferenças quanto à

biomassa, composição florística, presença de uma determinada espécie, variabilidade na porcentagem de carbono e nitrogênio das folhas ou da composição dos solos.

Já ZERBINI (1992) desenvolveu, na floresta amazônica, uma metodologia para quantificação de fitomassa aérea de floresta tropical a partir de dados espectrais obtidos de imagens TM Landsat 5 e HRV-SPOT 1. Foram determinadas as correlações entre as variáveis de fitomassa aérea, dendrométricas, espectrais e de cota e, por meio de análise de regressão, as equações de quantificação de biomassa foram geradas.

Um estudo feito em três regiões diferentes (Amazônia-Brasil, Tailândia e Malásia) para estimar biomassa utilizando imagens de satélite foi realizado por FODDY, BOYD e CUTLER (2003). A biomassa (Ton.ha^{-1}) em cada amostra foi tomada somando-se a biomassa total acima do solo para os componentes das árvores estimados (Kg) utilizando equações alométricas. Os pixels contendo a unidade amostral foram identificados e a refletância nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 do satélite Landsat TM foram extraídas para análise. Por meio de métodos estatísticos e redes neurais chegaram-se aos resultados.

O Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE) possui um grupo de estudos com Sensoriamento Remoto com Radar para estimativa de biomassa na Amazônia. Para este estudo são coletadas amostras de campo em florestas primárias e secundárias, avaliando-se a biomassa acima do solo e aplicando-se algoritmos às amostras.

AUSTIN, MACKAY e NIEL (2003) realizaram estimativas da biomassa utilizando imagens de radar (JERS1 SAR) em florestas de eucalipto na Austrália. No levantamento de campo foram obtidos dados de árvores e serapilheira. Os pontos amostrais estavam localizados em áreas florestadas, florestas cercadas e pastagens (onde a biomassa era efetivamente zero). A biomassa total acima do solo e seus componentes eram estimados para os pontos de coleta utilizando equações alométricas.

LUCKMAN *et al.* (1998) realizaram um estudo com o objetivo de desenvolver modelos semiempíricos para estimar a densidade de biomassa na regeneração acima do solo para uma floresta tropical utilizando o satélite JERS-1 *Synthetic Aperture Radar* (SAR). A magnitude e a variabilidade da resposta da L-banda SAR para a biomassa acima do solo foi quantificada utilizando dados de campo coletados na Amazônia Central e imagens de uma série de datas. Um modelo linear de retroespalhamento foi utilizado para o trabalho proposto. As fontes de variabilidade na densidade de biomassa e o retroespalhamento foram investigados em um determinado intervalo de confiança. Apenas três classes de regeneração da biomassa conseguiram ser distinguidas. A distribuição espacial da densidade da biomassa na Amazônia Central foi estimada aplicando-se o modelo para um mosaico de 90 imagens do JERS-1. Como resultando obteve-se um mapa de distribuição da

biomassa contida na regeneração da floresta, o que sugere ser uma metodologia útil para o monitoramento de florestas tropicais com escalas regionais.

DONG *et al.* (2003) fizeram estimativas de carbono em floresta boreal e temperada utilizando o sensoriamento remoto. A biomassa de carbono foi estimada estatisticamente por modelos de regressão, onde foram estudadas as relações entre a imagem de satélite resultante NDVI e estimativas do conteúdo de carbono na biomassa florestal proveniente de inventário. Foram então avaliados a capacidade de modelos de regressão representar a relação entre a biomassa e o NDVI utilizando escalas espacial, temporal e ecológica.

GAVEAU, BALZTER e PLUMMER (2003) realizaram um trabalho na Sibéria Central onde classificaram a biomassa de uma floresta baseado em imagens de radar. Inventários florestais foram realizados e para cada parcela obteve-se dados sobre: categoria de cobertura do solo, estoque relativo de madeira, volume de estoque crescente, idade, composição de espécies, altura média e diâmetro a altura do peito. Estes dados foram extrapolados para a área total. Foram então atribuídas classes de volume para a área e, por meio de um Sistema de Informações Geográficas, foi gerado um mapa de volume por hectare.

WATZLAWICK (2003) realizou um estudo em reflorestamento de Pinus, Araucária e floresta nativa. Ele desenvolveu uma metodologia para estimar biomassa e carbono utilizando amostras de campo (destrutivas) e dados do satélite IKONOS II. Nas parcelas foram amostrados dados da vegetação arbórea, arbustiva, serapilheira e raízes. Estes dados foram relacionados com as imagens de satélite e foram geradas equações que permitiram estimar biomassa e carbono nas parcelas e extrapolar os dados para a área toda. O produto final foi o mapeamento do carbono para as diversas tipologias florestais estudadas.

Estes trabalhos mostram a possibilidade e viabilidade de se realizar experimentos envolvendo quantificação de biomassa por meio de métodos indiretos, utilizando imagens de satélite.

4 MATERIAL E MÉTODOS

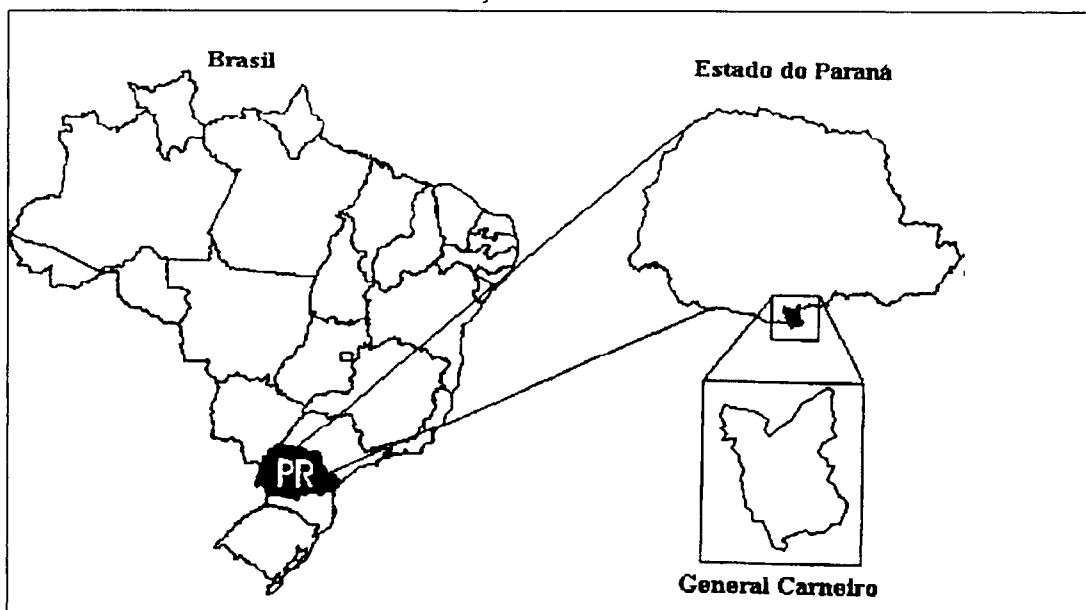
4.1 DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1.1 Localização

A área está localizada na Região Centro Sul do Paraná, entre as coordenadas 26° 20' 35 "e 26° 26' 13" Latitude Sul e 51° 19' 49" e 51° 25' 29" Longitude Oeste, com uma altitude média de 1000 m s.n.m. (PARANÁ, 1987) e a 280 Km de Curitiba, no município de General Carneiro, onde está sendo desenvolvido um Projeto Ecológico de Longa Duração (PELD Site 9) "Bioma Floresta de Araucária e suas Transições", com a implementação de vários trabalhos.

Segundo YAMAJI (2001) da área total, 2719 ha são áreas de floresta e áreas de Reserva Legal, representando 64,57% do total das propriedades. O restante está dividido da seguinte forma: 72 ha são áreas de Preservação Permanente (1,71% do total), reflorestamentos com 1287 ha (30,56% do total), e 133 ha está ocupado por estradas, construções e cursos d'água. A área total da fazenda é de 4211 ha.

FIGURA 11 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.



Fonte: CALDEIRA (2003)

4.1.2 Clima

Segundo a classificação de Koeppen, o clima de General Carneiro é caracterizado como Subtropical Úmido Mesotérmico (Cfb), temperado com verões frescos e invernos com ocorrência de geadas (de 10 a 25 por ano), não apresentando uma estação seca definida. A temperatura média na região está em torno de 17°C. Os invernos podem apresentar temperaturas abaixo de 0°C, porém no verão podem alcançar 36° C (PARANÁ, 1998).

4.1.3 Relevo

O Estado do Paraná é formado, em maior parte, por escarpas de estratos e planaltos, que declinam suavemente em direção oeste e noroeste. Ele divide-se em duas grandes regiões: o litoral e os planaltos do interior (Primeiro Planalto ou Planalto de Curitiba, Segundo Planalto ou Planalto de Ponta Grossa e Terceiro Planalto ou Planalto de Guarapuava). General Carneiro está localizado no Terceiro Planalto (MAACK, 1968).

4.1.4 Geologia e Solos

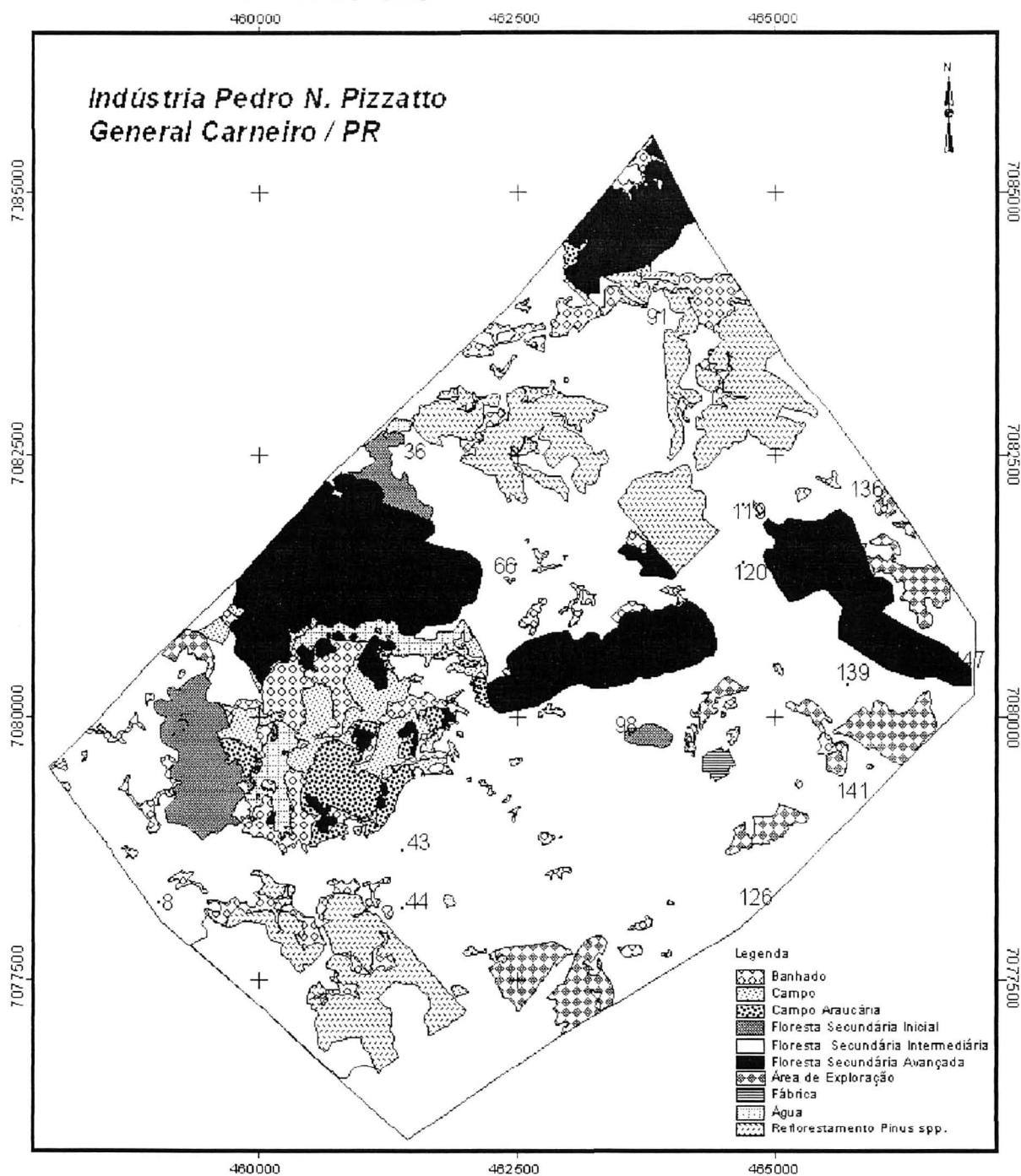
General Carneiro está inserido na Formação Serra Geral, no Grupo São Bento, formado no período Mesozóico (MINEROPAR, 2002). Todo sistema de vegetação é formado em relação ao clima, solos e morfologia geológica. Então a geologia exerce influência na vegetação de um determinado local, pois diferentes formações geológicas originarão solos distintos. No Terceiro Planalto estão presentes as formações geológicas basálticas, as quais darão origem aos solos de rochas vulcânicas e aos solos argilosos de rochas sedimentares

4.1.5 Vegetação

As espécies arbóreas encontradas nas parcelas são apresentadas no Anexo 11. Foram encontradas 20 famílias e 39 espécies na área de estudo. A maioria destas espécies geralmente está relacionada à ocorrência da *Araucaria angustifolia*. Algumas espécies de valor comercial ocorrem associadas à Araucária, especialmente as do gênero *Ocotea* (canelas e imbuia), *Ilex paraguariensis* (erva-mate) e a própria Araucária.

A Figura 12 mostra a distribuição das parcelas nos diversos tipos sucessionais da Floresta Ombrófila Mista nos domínios da fazenda.

FIGURA 12 - ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA NA ÁREA DE ESTUDO



Fonte: WATZLAWICK (2003)

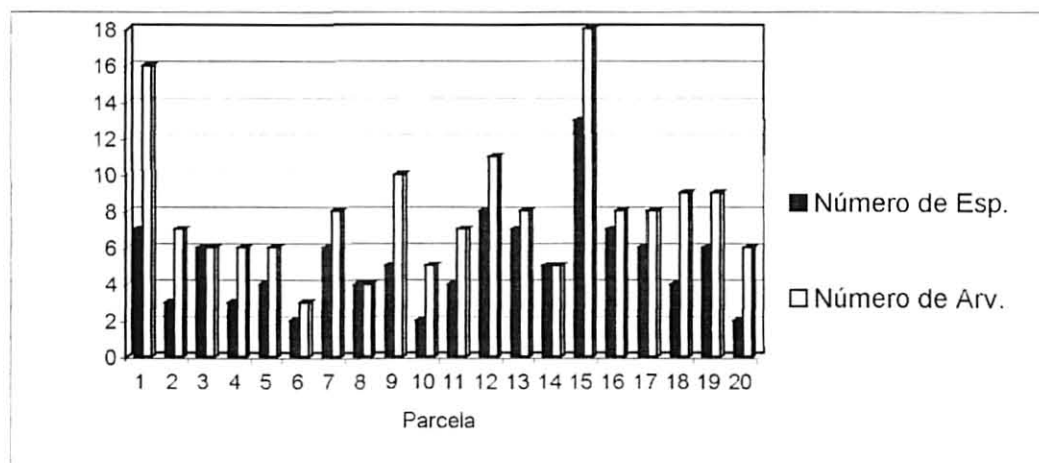
A distribuição das parcelas dentro dos estágios sucessionais amostrados é apresentada na Tabela 3. Não foram contemplados os estágios: banhado, campos e campos com Araucária. A propriedade já sofreu várias interferências antrópicas e as tipologias florestais presentes nos domínios da fazenda demonstram estar em pleno desenvolvimento, o que pode ser percebido pela área ocupada pela floresta secundária no estágio intermediário de sucessão.

TABELA 3 – ESTÁGIOS SUCESSIONAIS DAS PARCELAS AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela		Estágio Sucessional
1	5	Floresta Secundária Inicial
2	8	Floresta Secundária Intermediária
3	16	Floresta Secundária Avançada
4	36	Floresta Secundária Intermediária
5	38	Floresta Secundária Avançada
6	43	Floresta Secundária Intermediária
7	44	Floresta Secundária Intermediária
8	66	Floresta Secundária Intermediária
9	68	Floresta Secundária Avançada
10	91	Floresta Secundária Intermediária
11	97	Floresta Secundária Avançada
12	98	Floresta Secundária Inicial
13	119	Floresta Secundária Intermediária
14	120	Floresta Secundária Intermediária
15	126	Floresta Secundária Intermediária
16	136	Floresta Secundária Intermediária
17	137	Floresta Secundária Avançada
18	139	Floresta Secundária Intermediária
19	141	Floresta Secundária Intermediária
20	147	Floresta Secundária Avançada

O Gráfico 1 mostra a distribuição do número de espécies e do número de árvores em cada parcela. Pode-se constatar a grande heterogeneidade das parcelas amostradas. A parcela 15 é a que mais se destacou das demais com 13 espécies e 18 árvores e está localizada na floresta secundária intermediária. Já a parcela 6 foi a que apresentou um menor número de indivíduos (3) e apenas 2 espécies e se encontra no mesmo estágio sucessional da parcela 15. Não há diferença marcante entre o número de árvores e o número de espécies nos estágios sucessionais inicial, avançado e secundário.

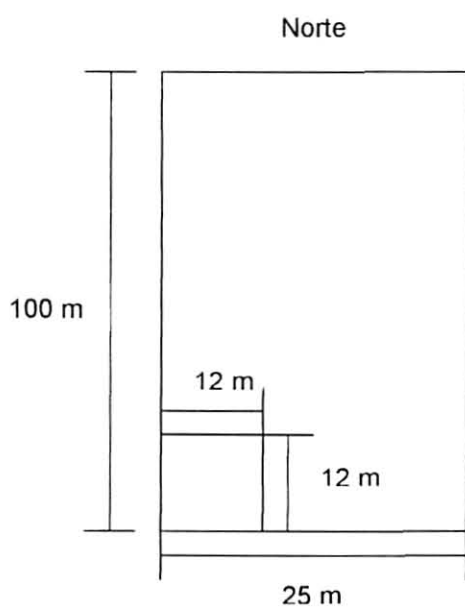
GRÁFICO 1- DISTRIBUIÇÃO DO NÚMERO DE ESPÉCIES E DO NÚMERO DE ÁRVORES POR PARCELA.



4.2 COLETA DAS AMOSTRAS DE CAMPO

A área estudada possuía 70 unidades amostrais locadas, utilizando o método de amostragem de área fixa e o processo sistemático, onde cada parcela (ou unidade amostral) ocupava uma área de 2500 m² (25 x 100 m). WATZLAWICK (2003) sorteou aleatoriamente 20 parcelas, das 70 existentes, para a quantificar a biomassa. Dentro de cada unidade amostral sorteada foram locadas subunidades de 12 x 12 m (unidade amostral primária) localizadas no canto inferior esquerdo da parcela maior (Figura 13).

FIGURA 13 - CROQUI DA PARCELA PARA COLETA DE DADOS NO CAMPO



Nestas parcelas foram medidos os indivíduos com DAP acima de 10 cm (árvores), abaixo de 10 cm de DAP (sub-bosque), serapilheira e raízes. No presente trabalho foram utilizados apenas os dados obtidos para as árvores (fuste, casca, galhos, folhagem e miscelânea).

4.3 DETERMINAÇÃO DA BIOMASSA

Nas unidades amostrais primárias foram cortadas e medidas todas as árvores com DAP superior a 10 cm para que a biomassa fosse determinada. Para cada árvore foram coletados o CAP, altura total, altura comercial (ponto de inversão morfológica), comprimento e espessura da casca. Foram ainda pesados, para cada árvore, as folhas, os galhos, o fuste, casca e miscelânea (musgos, líquens, lianas, bromélias, orquídeas, frutos e flores), os quais foram nomeados de Biomassa Verde. Depois foram determinadas as amostras para peso seco (aproximadamente 300 g de miscelânea), sendo que para o fuste foram retirados dois discos de 5 cm de espessura (o primeiro a 0,5 m acima do corte da árvore e o segundo a 0,5 m do ponto de inversão morfológico). Para a amostra de casca foram utilizados os mesmos discos do fuste. Foram considerados galhos aqueles presentes acima do ponto de inversão morfológico, onde foram retiradas amostras em todos os diâmetros e em todas as alturas de copa. As folhas tiveram amostras na ponta, no meio e na base da copa (WATZLAWICK, 2003).

As análises do material e a quantificação dos nutrientes foram realizadas no Laboratório de Ecologia Florestal, Departamento de Ciências Florestais da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), RS. Foi feita a secagem das amostras e determinado o peso da massa seca. Só então os nutrientes foram quantificados, individualmente para cada árvore e em cada compartimento (folhas, fuste, galhos, casca e miscelânea).

De todas as espécies coletadas em campo fez-se as excicatas, quando possível incluiu-se os órgãos reprodutivos, o que facilita a identificação das espécies. A correção dos nomes científicos e família foi feita pelo professor Solon Jonas Longhi, da UFSM.

4.4 QUANTIFICAÇÃO DOS NUTRIENTES

Segundo WATZLAWICK (2003) foram selecionados três exemplares das espécies com DAP acima de 10 cm (DAP maior, médio e menor) e para aquelas que não tinham mais de três exemplares todos foram utilizados para a determinação do teor dos nutrientes. Para a casca e o fuste fez-se uma média das duas amostras.

As amostras foram então colocadas em sacos de papel e secas em estufa de circulação forçada de ar a 65°C até que atingissem um peso constante. Depois foram trituradas em moinho Wiley, peneiradas (malha 1,0 mm) e armazenadas em frascos de vidro para que fossem submetidas às análises químicas (MIYAZAWA *et al.*, 1999 citado por CALDEIRA, 2003).

Todas as análises químicas dos nutrientes nos componentes (fuste, casca, folhas, galhos e miscelâneas) foram determinadas por digestão úmida. No presente trabalho foram utilizados os macronutrientes quantificados (N, P, K, S, Ca e Mg). O Nitrogênio foi analisado por meio de titulação e determinado pelo método Kjeldahl, ou digestão sulfúrica. O Potássio foi analisado no fotômetro de chama. O Fósforo e o Enxofre foram lidas no espectrofotômetro UV-VIS. Já o Cálcio e o Magnésio foram lidos no espectrofotômetro de absorção atômica (EAA) (TEDESCO *et al.*, 1995; MIYAZAWA *et al.*, 1999 citado por CALDEIRA, 2003).

Os resultados foram submetidos a análises estatísticas, onde se calculou os teores médios, desvio padrão, coeficiente de variação, limite inferior e superior dos componentes da planta e da biomassa. Também foram classificados os teores médios foliares dos macronutrientes, utilizando-se a média dos teores \pm um desvio padrão. A biomassa para cada espécie e para cada componente foi determinada somando-se estes elementos e foi calculada a biomassa por hectare a partir da biomassa média das unidades amostrais. Já a quantidade de nutrientes em Kg.espécie⁻¹ em cada componente foi calculada multiplicando-se a biomassa (Kg.espécie⁻¹) pelo teor de nutrientes determinado para cada componente. Somando-se os valores dos nutrientes para cada componente da biomassa obteve-se a quantidade total (Mg. ha⁻¹) dos mesmos (CALDEIRA, 2003).

4.5 CÁLCULO DOS NUTRIENTES POR PARCELA

As 20 parcelas amostradas possuem quantidade de biomassa seca por espécie identificada com DAP \geq 10 cm. Os nutrientes em cada componente da árvore (casca, fuste,

folhas, galhos e miscelânea) foram calculados multiplicando-se a quantidade de biomassa seca pelo teor médio do nutriente, em cada componente da árvore e para cada espécie.

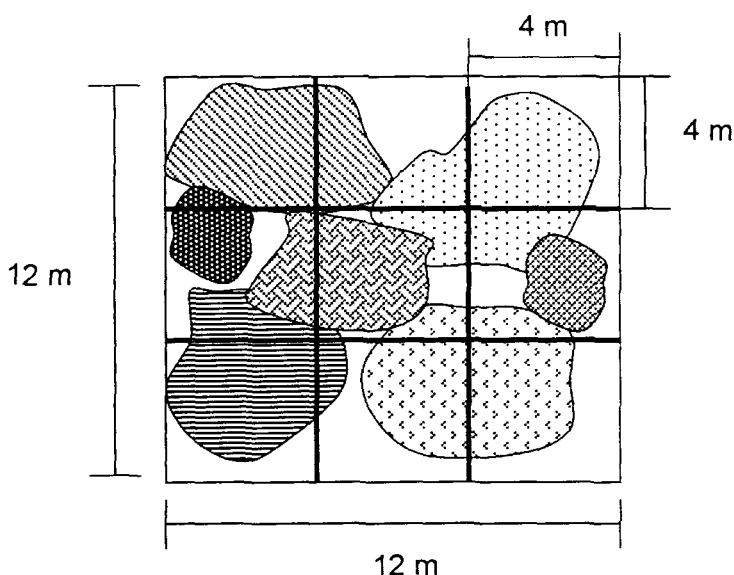
$$\text{Nutriente}_{(\text{componente})} = \text{Biomassa Seca (Kg)} \times \text{Conteúdo Médio do Nutriente (g.Kg}^{-1}\text{)}$$

Cada parcela teve então um total de nutrientes por componente e por espécie. Para este trabalho foi utilizado somente o somatório do nutriente na parcela e não para cada espécie individualmente.

O valor de brilho de um pixel nem sempre está associado à refletância de uma determinada espécie, como pode ser observado na Figura 14. O mesmo ocorre quando quantificamos os nutrientes: não conseguimos atribuir um valor a uma única espécie na imagem.

Então o conteúdo de nutrientes na parcela (144 m^2) foi convertido para 16 m^2 , o que corresponde a área de um pixel. Este procedimento teve que ser adotado pois a imagem de satélite IKONOS possui uma resolução espacial (tamanho do pixel) de 16 m^2 e só assim os dados poderiam ser relacionados.

FIGURA 14 – DISTRIBUIÇÃO HIPOTÉTICA DAS COPAS DAS ÁRVORES EM UMA PARCELA, COM O TAMANHO DO PIXEL 4X4M.



4.6 LOCALIZAÇÃO DAS PARCELAS NO CAMPO E NA IMAGEM

As parcelas para determinação de biomassa foram locadas dentro das parcelas utilizadas para o inventário florestal da fazenda. Após toda a vegetação ter sido retirada foi tomado um ponto na área central de cada parcela com o auxílio do GPS (Global Positioning System) Leica-Topográfico SR-510. Por meio deste ponto outros quatro pontos foram levantados, em cada extremidade da parcela, possibilitando assim a sua localização na imagem de satélite (WATZLAWICK, 2003).

4.7 PROCEDIMENTOS COM AS IMAGENS

4.7.1 Descrições técnicas do sensor

As principais características técnicas do satélite IKONOS II e de seus produtos estão resumidos na Tabela 4.

TABELA 4 - CARACTERÍSTICAS DO SATÉLITE IKONOS II

Altitude	680 km
Inclinação	98,1°
Velocidade	7km / s
Sentido da Órbita	descendente
Duração da Órbita	98 minutos
Tipo de Órbita	Sol-síncrona
Resolução Espacial	Pancromática: 1m / Multiespectral: 4m
Bandas espectrais	PAN 0.45 - 0.90 μm (MS-1) AZUL 0.45 - 0.52 μm (MS-2) VERDE 0.52 - 0.60 μm (MS-3) VERMELHO 0.63 - 0.69 μm (MS-4) INFRAVERMELHO PRÓXIMO 0.76 - 0.90 μm
Imageamento	13km na vertical (cenas de 13km x 13km)
Capacidade de Aquisição de imagens	Faixas de 11km x 100km até 11km x 1000km Mosaicos de até 12.000km ² 20.000km ² de área imageada numa passagem
Frequência de Revisita	2.9 dias no modo Pancromático 1.5 dias no modo Multiespectral Esses valores valem para latitude de +/- 40°. A frequência de revisita para latitudes maiores será menor, e maior para as latitudes perto do Equador.

Fonte: <http://www.engesat.com.br/satelites/ikonos.htm>

O satélite IKONOS II foi lançado no dia 24 de Setembro de 1999, e está operacional desde o início de janeiro de 2000. Ele gera imagens com 1 m de resolução nas bandas multiespectrais e 4 m na banda Pancromática. A resolução radiométrica das imagens é 11 bits (2048 níveis de cinza), o que possibilita um aumento no poder de contraste e de discriminação das imagens.

4.7.2 Correção Geométrica das Imagens IKONOS

Segundo WATZLAWICK (2003) foram coletados no campo 15 (quinze) pontos de apoio com o GPS, com uma precisão de aproximadamente 50 cm. A localização de cada ponto é um fator que deve ser considerado, pois o êxito na correção geométrica da imagem depende da fácil identificação do ponto na imagem e da distribuição destes pontos, que deve ser a mais uniforme possível. Os pontos foram então identificados na imagem de satélite em uma composição colorida utilizando as bandas MS-3, MS-2 e MS-1.

O método utilizado para fazer a reamostragem dos pixels foi o vizinho mais próximo. Este método foi escolhido pois preserva os DN's (Digital Numbers) da imagem, não envolvendo médias na reamostragem dos pixels (WATZLAWICK, 2003).

4.7.3 Conversão dos Valores Numéricos Digitais de Radiância para Reflectância

Quando se realizam estudos ligados com o conteúdo de umidade na vegetação ou da biomassa, é necessário estabelecer uma relação quantitativa entre os números digitais (DN's) da imagem e parâmetros do alvo. Deve-se realizar a conversão dos DN's para reflectância com a finalidade de minimizar a variabilidade de condições de iluminação no comportamento espectral do alvo, no caso do trabalho na vegetação (CHUVIECCO, 1990 citado por WATZLAWICK, 2003).

Para realizar a correção atmosférica "utilizou-se de metodologia denominada de correção do histograma por seus valores mínimos (Histogram Minimum Method, HMM). A metodologia assume que as áreas (alvos) com forte absorvidade (água e sombras), deveriam apresentar uma radiância espectral muito próxima de zero, mas na prática o histograma dos DN's da imagem sempre apresenta um mínimo superior a zero. Atribuiu-se este valor ao efeito da dispersão da atmosfera. Pela metodologia, deve se estabelecer uma

banda de referência utilizando-se a mais afetada pela dispersão, com o valor mínimo desta banda (geralmente a banda no azul)” (WATZLAWICK, 2003).

O fator de correção atmosférico para as outras bandas foi calculado utilizando-se a seguinte fórmula:

$$DN_{i,j,k} = DN_{i,j,k} - DN_{min,k}$$

Onde DN (número digital) no pixel (i,j) na banda k ajusta o DN mínimo dessa mesma banda. A conversão dos DN's para radiância leva em consideração os parâmetros de calibração do sensor IKONOS.

$$L_{i,j,k} = DN_{i,j,k} \times [CalCoef_k]$$

Onde:

$L_{i,j,k}$ = valor da radiância do pixel i,j na banda k, em $mW/cm^2 \cdot sr^{-1}$;

$CalCoef_k$ = coeficiente de calibração da radiância em $mW/cm^2 \cdot sr^{-1}$;

Os coeficientes utilizados para as bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4 foram 637, 573, 663 e 503, respectivamente.

A conversão dos valores de radiância para refletância considera parâmetros relacionados com o momento de aquisição da imagem e o posicionamento do sensor (ângulo zenital e horário da coleta da cena) e a distância normalizada terra-sol. Para isso utilizou-se a equação a seguir:

$$R = \frac{\pi \times L \times r^2}{E \times \cos\theta}$$

Onde:

R = refletância (adimensional);

$\pi = 3,14159265$;

L = radiância em $mW/cm^2 \cdot sr^{-1}$;

r = radiância normalizada terra-sol, em unidades astronômicas;

θ = ângulo zenital solar no centro da imagem, em graus;

E = constante solar, em $mW/cm^2 \cdot sr^{-1}$.

Após o cálculo dos valores de reflectância para as bandas MS-1, MS-2, MS-3 e MS-4 foram determinadas as reflectâncias médias nas parcelas cortadas da imagem, ou seja, foi feita uma média dos valores digitais dos 9 pixels (4x4 m) presentes dentro da parcela (12x12 m). Após a geração das imagens contendo os índices de vegetação, foi adotado o mesmo procedimento.

Todas as fórmulas foram extraídas de WATZLAWICK (2003).

4.8 GERAÇÃO DAS IMAGENS COM OS ÍNDICES DE VEGETAÇÃO

Para gerar as imagens contendo os índices de vegetação foram utilizadas as bandas já com os valores de refletância.

Os índices de vegetação utilizados foram:

Índice de Vegetação por Diferença Normalizada ou *Normalized Difference Vegetation Index*

$$NDVI = \frac{(MS-4) - (MS-3)}{(MS-4) + (MS-3)}$$

onde:

MS-3 = banda no vermelho, adimensional;

MS-4 = banda no infravermelho próximo, adimensional.

Índice de Vegetação da Razão ou *Ratio Vegetation Index*

$$RVI = \frac{MS-4}{MS-3}$$

onde:

MS-3 = banda no vermelho, adimensional;

MS-4 = banda no infravermelho próximo, adimensional.

Índice de Vegetação Ajustado para o Solo ou *Soil Adjusted Vegetation Index*

$$SAVI = \left[\frac{(MS-4) - (MS-3)}{(MS-4) + (MS-3) + L} \right] \times (1 + L)$$

onde:

MS-3 = banda no vermelho, adimensional;

MS-4 = banda no infravermelho próximo, adimensional;

L = fator de correção para o solo, adimensional.

Este valor de L faz com que os valores de brilho do solo exerçam uma influência menor na resposta espectral da vegetação e varia de 0 a 1, dependendo da densidade da vegetação, portanto locais com vegetação mais densa $L=0,25$ e mais rala ou mais aberta $L=1$. O valor $L=0,5$ cabe a maioria dos tipos vegetacionais associadas a uma grande variedade de solos (HUETE, 1988 citado por WATZLAWICK, 2003).

4.9 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Para o procedimento estatístico foram utilizadas as quantidades de nutrientes por pixel médio. Os valores das reflectâncias nas bandas Azul, Verde, Vermelho e Infra-Vermelho Próximo por parcela foram calculados utilizando também o procedimento do pixel médio. Os Índices de Vegetação utilizados foram o NDVI, Razão de Bandas e SAVI, todos calculados a partir da imagem refletância e com o valor do pixel médio por parcela.

Os dados obtidos no campo e na imagem de satélite foram correlacionados e utilizando a análise de regressão dos dados foram gerados os modelos. Neste tipo de análise duas ou mais variáveis quantitativas são relacionadas para que se possa fazer a previsão de uma variável com base em outra. Os dados de nutrientes foram atribuídos como variáveis dependentes e os dados provenientes da imagem de satélite foram as variáveis independentes. A equação proposta para ajustar o modelo é uma equação linear do tipo:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + b_3X_3 + b_4X_4 + b_5X_5 + b_5X_5 + b_6X_6 + b_7X_7$$

A partir da matriz de correlação foram verificadas quais variáveis tinham a maior correlação com a variável dependente, no caso o nutriente. Utilizou-se o método de eliminação de variáveis *Stepwise* (passo a passo), onde foram selecionadas somente as variáveis que contribuíam significativamente para o modelo proposto.

Todo o procedimento estatístico foi realizado no software EXCEL do OFFICE 2000.

4.10 GERAÇÃO DOS MAPAS

Os mapas gerados neste trabalho possuem as quantidades estimadas, já que os dados foram extrapolados para a área toda por meio de equações. Para gerar os mapas de nutrientes foi aplicado o modelo obtido para cada nutriente fazendo-se a Matemática de Bandas no software ENVI 3.2. Com este procedimento é possível entrar com a equação e se obter uma imagem já com a quantidade de nutrientes por pixel. Este procedimento foi realizado para cada nutriente individualmente, utilizando os coeficientes obtidos na análise de regressão e suas respectivas bandas (ou índices de vegetação).

Fez-se então uma equalização da imagem e aplicou-se o *Density Slice* onde cores foram atribuídas às classes determinadas a partir das quantidades de nutrientes nas parcelas (foram estabelecidas 5 classes de nutrientes para cada imagem). Esta imagem foi armazenada com a paleta de cores no formato TIF e transferida para o Arc View GIS 3.2 onde foi convertida em um arquivo do tipo "shape file". De posse da imagem da fazenda contendo os polígonos de vegetação nativa, cortou-se a imagem com os teores de nutrientes resultando somente nas áreas de interesse.

O próximo passo foi a criação das classes de cores na imagem recortada (as mesmas geradas no ENVI) e atribuição de valores para cada classe. Obteve-se então o mapeamento de cada nutriente na área de Floresta Ombrófila Mista.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 QUANTIFICAÇÃO DA BIOMASSA

Os valores estimados para a biomassa no fuste, casca, galhos, folhas e miscelânea das árvores são apresentados na Tabela 5. Primeiramente foram calculados a biomassa seca nas parcelas e depois os valores foram extrapolados para hectare. Estes valores foram utilizados para a determinação dos conteúdos de nutrientes.

TABELA 5 – BIOMASSA MÉDIA DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NAS PARCELAS COM DAP \geq 10 CM DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA, EM Ton.ha⁻¹.

Parcela	Fuste	Casca	Galhos	Folhagem	Miscelânea	TOTAL
1	25,6021	5,0840	22,5451	2,2160	0,2201	55,6673
2	130,0256	2,7210	253,8829	2,5292	9,5043	398,663
3	78,6660	6,0646	72,8090	2,4076	1,7285	161,6757
4	9,1438	1,1736	11,2625	0,9094	0,0903	22,5796
5	145,3472	19,4451	213,1164	4,8396	4,2369	386,9852
6	25,5535	3,8889	23,6979	1,3285	0,0292	54,498
7	63,4965	25,0785	33,9438	5,8243	0,5049	128,848
8	132,3806	40,3507	6229,3100	13,1083	2,1563	6417,3059
9	34,5648	9,5206	27,0708	6,1015	0,4770	77,7347
10	64,7229	43,4889	25,4042	10,2597	0,4236	144,2993
11	100,9090	21,3792	199,4201	9,0250	2,9597	333,693
12	194,3042	24,2042	227,8257	9,7826	456,1167	912,2334
13	76,6785	6,1056	143,3875	4,9625	4,1035	235,2376
14	29,4451	3,8264	33,2416	2,3146	0,2451	69,0728
15	104,8474	16,5870	146,6285	5,5438	3,8743	277,481
16	84,6111	8,9778	102,1942	3,6693	0,7215	200,1739
17	271,4681	155,7764	133,6951	8,1903	5,0056	574,1355
18	36,7118	4,8431	76,5299	3,6056	0,4238	122,1142
19	74,7055	33,8556	27,6903	6,5763	0,1639	142,9916
20	30,8229	5,9903	9,1750	1,0771	0,0639	47,1292
TOTAL	1714,0066	438,3615	8012,8305	104,2712	493,0491	10762,5189

Fonte: WATZLAWICK (2003)

A biomassa nos diferentes compartimentos das árvores amostrada foi: 8012,83 Ton.ha⁻¹ de galhos (74,45% da biomassa total), 1714,01 Ton.ha⁻¹ de fuste (15,93%), 493,05 Ton.ha⁻¹ de miscelânea (4,58%), 438,36 Ton.ha⁻¹ de casca (4,07%) e 104,2712 Ton.ha⁻¹ de folhas (0,97%).

A biomassa em plantios de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* foi estimada por meio de equações utilizando diâmetro e altura das árvores amostradas. Nas parcelas em plantios puros obteve-se a biomassa seca nos diversos componentes das árvores. Para a espécie *Liquidambar* os resultados foram : 96,8 Ton.ha⁻¹ de lenho; 8,6 Ton.ha⁻¹ de casca; 18,9 Ton.ha⁻¹ de galhos e 2,9 Ton.ha⁻¹ de folhas. As árvores de *Pinus* apresentaram os seguintes valores: 90,7 Ton.ha⁻¹ de lenho; 19,2 Ton.ha⁻¹ de casca; 13,0 Ton.ha⁻¹ de galhos e 10,8 Ton.ha⁻¹ de folhas (DRUMOND, 1985).

Segundo NEVES (1999), a biomassa produzida pelas espécies *Ceiba pentandra* e *Virola surinamensis*, aos 43 e 55 meses foram (em Kg): tronco (40,79; 88,67), casca (13,67; 27,47), galhos (13,15; 25,84), folhas (5,39; 6,95) para a *Ceiba* e para a *Virola*: tronco (3,46; 9,63), galhos (2,80; 5,99), folhas (1,81; 4,07), casca (0,60; 1,69). Estes valores foram calculados tirando-se a média de quatro árvores amostradas.

Estudos realizados em várias florestas tropicais e subtropicais do mundo mostram a grande quantidade de biomassa que estes ecossistemas produzem. A biomassa produzida em algumas regiões, acima e abaixo do solo: Ghana (58,08 Kg/ha⁻¹), Congo (30,44 e 28,88 Kg/ha⁻¹), Brasil (212,28 e 344,82 Kg/ha⁻¹), Tailândia (47,06 e 76,74 Kg/ha⁻¹), Porto Rico (25,46 Kg/ha⁻¹), Japão (80,34 Kg/ha⁻¹), Índia (5,36 Kg/ha⁻¹). Os ecossistemas amostrados foram floresta pluvial tropical em Ghana e Congo, floresta tropical Montana no Brasil, floresta temperada e de galeria na Tailândia, mangue em Porto Rico, savana seca na Índia e floresta subtropical no Japão (RODIN e BAZILEVICH, 1967).

5.2 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Os valores das correlações estão apresentados nas Tabelas 6 e 7. Verifica-se a baixíssima correlação dos nutrientes com as bandas e índices de vegetação quando se utiliza o conteúdo dos nutrientes em todos os componentes da árvore somados e o aumento destas correlações quando foi utilizado somente o conteúdo de nutrientes presentes nas folhas é considerado. Isto pode ter ocorrido pois a maioria dos satélites, com exceção do radar, não possui uma alta capacidade de penetração no dossel florestal, e a reflectância

que chega até o sensor geralmente está associada às copas das árvores, especialmente em florestas nativas.

TABELA 6 – COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO UTILIZANDO TODOS OS COMPONENTES DA ÁRVORE (FUSTE, CASCA, GALHOS, FOLHAS E MISCELÂNEA)

	NITROGÊNIO	ENXOFRE	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO
BLUE	-0,11954262	-0,160423553	-0,065699448	-0,25613418	-0,226638135	-0,234578666
GREEN	0,027544358	-0,039500978	0,080592101	-0,141273944	-0,127066388	-0,173248083
RED	-0,07785473	-0,016148874	-0,105835824	-0,161491401	-0,112641566	-0,306143413
NIR	-0,265366451	-0,205550135	-0,278391194	-0,215872486	-0,111431092	-0,009443352
RAZAO	-0,145926304	-0,153352306	-0,135170753	-0,039085697	-0,017793539	0,243044823
NDVI	-0,064603826	-0,078828748	-0,057995234	0,031920915	0,056615035	0,257784205
SAVI	-0,23738559	-0,192279293	-0,248378499	-0,168622647	-0,075941366	0,067597209

TABELA 7- COEFICIENTES DE CORRELAÇÃO UTILIZANDO SOMENTE AS FOLHAGENS

	NITROGÊNIO	ENXOFRE	FÓSFORO	POTÁSSIO	CÁLCIO	MAGNÉSIO
BLUE	-0,600564159	-0,550124	-0,577400581	-0,599969704	-0,485442898	-0,52037514
GREEN	-0,431635877	-0,3746055	-0,393223294	-0,442711496	-0,311744328	-0,325083319
RED	-0,398420513	-0,4021024	-0,383542374	-0,425370962	-0,212949259	-0,358970935
NIR	-0,316437214	-0,3547361	-0,218226159	-0,218524209	-0,135157397	-0,184420672
RAZAO	0,077609301	0,0567528	0,13357355	0,190155241	0,055487957	0,14424821
NDVI	0,141495635	0,1148654	0,181729072	0,20957946	0,095416129	0,177174445
SAVI	-0,229619737	-0,2706539	-0,137279902	-0,127099052	-0,089576999	-0,110442673

Os coeficientes de correlação variam de -1 a $+1$. Quando ele é positivo indica uma variação positiva das duas variáveis e, quanto mais próximo de 1 maior a correlação entre elas. Quando o coeficiente é negativo indica que as variáveis são inversamente proporcionais, ou seja, quando uma delas cresce a outra decresce. Nas análises apresentadas acima pode se observar que a maioria dos coeficientes é negativa, indicando que as variáveis dependentes e as independentes são inversamente proporcionais.

Com base nos resultados obtidos nas tabelas acima se optou em utilizar somente os dados referentes às folhas para o mapeamento dos nutrientes.

5.3 CÁLCULO DOS NUTRIENTES

A Tabela 8 mostra o conteúdo dos macronutrientes em todos os componentes das árvores, por parcela. A média dos conteúdos destes nutrientes na biomassa da vegetação arbórea amostrada foi: 1,3572 Ton.ha⁻¹ de Nitrogênio; 0,2657 Ton.ha⁻¹ de Enxofre; 0,0872 Ton.ha⁻¹ de Fósforo; 1,4478 Ton.ha⁻¹ de Potássio; 1,3684 Ton.ha⁻¹ de Cálcio e 0,2350 Ton.ha⁻¹ de Magnésio.

TABELA 8 – CONTEÚDOS MÉDIOS DOS MACRONUTRIENTES (Ton.ha⁻¹) NA BIOMASSA EM TODOS OS COMPONENTES SOMADOS AMOSTRADOS NAS ESPÉCIES COM DAP \geq 10 CM DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
1	0,2431	0,0613	0,0213	0,3814	0,3156	0,0435
2	3,7630	0,5743	0,2902	2,7151	2,8491	0,5901
3	1,0419	0,1555	0,0660	1,0745	0,7423	0,0858
4	0,1065	0,0161	0,0072	0,1461	0,2002	0,0277
5	2,7431	0,6895	0,1408	2,7041	1,8620	0,1957
6	0,2138	0,0496	0,0349	0,0349	0,4260	0,0379
7	0,7087	0,1704	0,0382	0,8908	0,8295	0,1082
8	1,9272	0,3248	0,1149	2,3011	2,2107	0,3599
9	0,3866	0,0898	0,0299	0,5520	0,4759	0,0966
10	0,6671	0,1692	0,0527	1,0333	1,6231	0,1794
11	2,2739	0,4832	0,1247	2,2645	1,8767	0,2649
12	3,4033	0,6514	0,2544	3,1170	2,5905	0,3730
13	1,7625	0,3548	0,0911	1,5929	1,1567	0,1502
14	0,3180	0,0808	0,0350	0,5235	0,3552	0,0961
15	1,3655	0,2020	0,1320	1,6290	1,7855	0,3337
16	1,3925	0,2571	0,0845	1,3792	1,0938	0,1832
17	2,8402	0,6928	0,1432	3,8579	4,5532	0,6521
18	1,1386	0,1065	0,0285	0,8867	0,7102	0,0938
19	0,5906	0,1409	0,0433	1,5255	1,6376	0,7877
20	0,2582	0,0444	0,0121	0,3458	0,0744	0,0395

Fizeram-se os cálculos para a biomassa com todos os componentes somados (fuste, casca, galhos, folhas e miscelânea) e para a biomassa somente nas folhas. Este procedimento foi necessário pois quando se analisaram os dados estatisticamente constatou-se a baixa correlação destas variáveis (dependentes) com as variáveis independentes, os dados de refletância. Estas correlações foram apresentadas na Tabela 6.

Foi feito então um teste utilizando somente os valores dos nutrientes presentes na folhagem das espécies em cada parcela. A correlação entre estas variáveis (dependentes)

e as variáveis independentes tiveram um aumento considerável (Tabela 7), o que tornou possível a geração das equações para estimar os nutrientes.

Na Tabela 9 pode-se observar os conteúdos dos macronutrientes somente na biomassa das folhas. A média para cada componente foi a seguinte: 0,0998 Ton.ha⁻¹ de N; 0,0094 Ton.ha⁻¹ de S; 0,007 Ton.ha⁻¹ de P; 0,0523 Ton.ha⁻¹ de K; 0,0158 Ton.ha⁻¹ de Ca e 0,2244 Ton.ha⁻¹ de Mg.

TABELA 9 – CONTEÚDOS MÉDIOS DOS MACRONUTRIENTES (Ton.ha⁻¹) NA BIOMASSA DAS FOLHAS NAS ESPÉCIES COM DAP \geq 10 CM DA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
1	0,0309	0,0038	0,0023	0,0218	0,0186	0,0049
2	0,0648	0,0067	0,0042	0,0159	0,0259	0,0100
3	0,0549	0,0049	0,0025	0,0221	0,0147	0,0046
4	0,0132	0,0014	0,0007	0,0067	0,0094	0,0036
5	0,1180	0,0108	0,0058	0,0526	0,0328	0,0071
6	0,0210	0,0027	0,0013	0,0013	0,0132	0,0036
7	0,0984	0,0096	0,0076	0,0565	0,0705	0,0186
8	0,2035	0,0196	0,0180	0,1259	0,1777	0,0474
9	0,0987	0,0093	0,0089	0,0624	0,0803	0,0218
10	0,1561	0,0147	0,0149	0,1029	0,2321	0,0387
11	0,1764	0,0161	0,0112	0,0922	0,0949	0,0254
12	0,2211	0,0233	0,0128	0,0900	0,0774	0,0248
13	0,1176	0,0106	0,0055	0,0520	0,0359	0,0091
14	0,0590	0,0047	0,0029	0,0261	0,0158	0,0045
15	0,0848	0,0116	0,0084	0,0509	0,0465	0,0217
16	0,0912	0,0073	0,0044	0,0360	0,0285	0,0084
17	0,1415	0,0131	0,0114	0,0822	0,1034	0,0270
18	0,1051	0,0062	0,0061	0,0335	0,0323	0,0071
19	0,1095	0,0099	0,0096	0,1050	0,0817	0,0250
20	0,0302	0,0024	0,0013	0,0109	0,0052	0,0026

Os conteúdos dos nutrientes foram calculados multiplicando-se a biomassa de cada espécie na parcela pelo conteúdo do nutriente por Kg de matéria seca. Estes conteúdos para cada nutrientes e por espécie estão em anexo (Anexos 1, 2, 3, 4, 5 e 6).

A média dos teores dos macronutrientes em cada compartimento das árvores pode ser observada na Tabela 10.

TABELA 10 – TEORES MÉDIOS DOS MACRONUTRIENTES NOS VÁRIOS COMPARTIMENTOS DAS ÁRVORES AMOSTRADAS (g.Kg⁻¹)

	Madeira	Casca	Galhos	Folhas	Miscelânea
Nitrogênio	3,2023	8,0786	6,4640	21,8977	14,6530
Enxofre	0,8503	1,3252	1,0253	2,0124	2,0835
Fósforo	0,3457	0,3992	0,5262	1,3758	1,0847
Potássio	6,0895	6,7137	7,1478	10,2991	7,9044
Cálcio	2,4104	19,0858	7,1391	9,2631	7,4575
Magnésio	1,0209	1,5039	1,1860	3,2835	1,7815

O que se pode notar é a alta concentração dos nutrientes nas folhas, com exceção apenas para o cálcio, que se acumula na casca das árvores, mostrando que os sítios de acumulação da maioria dos nutrientes são as folhas.

O fósforo é um nutriente que se acumula mais nos órgãos reprodutivos do que nos vegetativos, mas a sua presença nas folhas continua sendo maior do que nos outros componentes analisados.

A casca das espécies amostradas apresenta uma concentração mais alta do elemento cálcio que os demais componentes (folhas, galhos, troncos e miscelânea). Isto é explicado porque o cálcio possui uma baixa mobilidade e se acumula primeiramente em outros órgãos, já que as folhas são os últimos órgãos a serem alcançados pelos nutrientes desde a sua absorção pelas raízes.

Em um estudo realizado em um bosque de *Pinus halepensis* no Mediterrâneo quantificou-se alguns nutrientes em várias partes da árvore e chegaram-se a estes resultados, nos galhos e no fuste, respectivamente: 0,0037 e 0,0227 Ton.ha⁻¹ de Na; 0,0262 e 0,0568 Ton.ha⁻¹ de K; 0,460 e 0,352 Ton.ha⁻¹ de Ca; 0,0187 e 0,0227 Ton.ha⁻¹ de Mg; 0,0112 e 0,0114 Ton.ha⁻¹ de P e 0,1159 e 0,01250 Ton.ha⁻¹ de N (RAPP, 1978).

DRUMOND (1985) estudou os nutrientes em plantações de *Liquidambar styraciflua* e *Pinus caribaea* em parcelas puras e consorciadas, no interior de São Paulo. Primeiramente foi quantificada a biomassa nas árvores abatidas. Foram coletadas amostras das folhas, galhos, casca e lenho, as quais foram secas e submetidas às análises químicas. Os resultados foram calculados em porcentagem da matéria seca. Os valores encontrados para as espécies *Liquidambar* e *Pinus* foram, respectivamente: folhas (1,87 e 1,25 de N; 0,09 e 0,06 de P; 0,51 e 0,56 de K; 0,44 e 0,19 de Ca; 0,24 e 0,08 de Mg); galhos (0,31 e 0,33 de N; 0,02 e 0,02 de P; 0,24 e 0,16 de K; 0,24 e 0,15 de Ca; 0,07 e 0,05 de Mg); casca (0,44 e 0,23 de N; 0,03 e 0,01 de P; 0,38 e 0,03 de K; 0,53 e 0,06 de Ca; 0,12 e 0,01 de Mg); lenho (0,09 e 0,13 de N; 0,01 e 0,01 de P; 0,05 e 0,05 de K; 0,05 e 0,05 de Ca; 0,02 e 0,01 de Mg).

Neves (1999) realizou um estudo com as espécies *Ceiba pentandra* e *Virola surinamensis*. A concentração média de macronutrientes encontrados nas folhas destas espécies, com 55 meses de idade, foi (em g.Kg⁻¹): 28,28 de N; 2,11 de P; 11,29 de K; 10,19 de Ca; 2,98 de Mg e 1,91 de S para a *Ceiba* e 15,45 de N; 0,94 de P; 4,85 de K; 8,68 de Ca; 2,14 de Mg e 1,37 de S para a *Virola*.

KALLE (1958), FINCK (1968), FORTESCUE E MARTEN (1970) citados por LARCHER (1986) fizeram a quantificação dos macronutrientes presentes nas cinzas de plantas terrestres. Os valores médios e as amplitudes para cada elemento são: N 20 g.Kg⁻¹ (10-50), P 2 g.Kg⁻¹ (0,5-8), S 1 g.Kg⁻¹ (0,5-8), K 10 g.Kg⁻¹ (3-50), Ca 10 g.Kg⁻¹ (3-50) e Mg 2 g.Kg⁻¹ (0,5-10). Estes valores se referem a g.Kg⁻¹ de matéria seca.

Já NILSSON e WIKLUND (1995) quantificaram os nutrientes nos diversos compartimentos das árvores da espécie *Picea abies*. Os conteúdos dos macronutrientes foram quantificados por meio de amostras retiradas do fuste, casca, galhos e serapilheira. As concentrações médias de nutrientes para as acículas, galhos vivos, galhos mortos, madeira do fuste, casca do fuste e serapilheira foram, respectivamente: P (1,065; 0,58; 0,30; 0,06; 0,66; 0,73 mg.g⁻¹), K (4,05; 2,3; 0,42; 0,58; 3,6; 1,1 mg.g⁻¹), Ca (3,75; 2,85; 2,2; 0,57; 5,8; 2,75 mg.g⁻¹), Mg (0,99; 0,64; 0,30; 0,13; 0,85; 0,58 mg.g⁻¹) e S (1,20; 0,48; 0,73; 0,06; 0,46; 0,90 mg.g⁻¹).

Outro estudo foi realizado em vários países, com diversas espécies da floresta pluvial tropical. Foram quantificados os nutrientes nas árvores juntamente com as lianas. Os valores médios encontrados por ROZANOV e ROZANOVA *et. al.* (1964) citados por RODIN e BAZILEVICH (1967) foram (% do peso seco): 2,25 de N; 1,00 de Ca; 0,95 de K; 0,30 de Mg; 0,17 de P e 0,18 de S nas folhas. Nos galhos e troncos os resultados foram os seguintes: 0,34 de N; 0,47 de Ca; 0,25 de K; 0,10 de Mg; 0,04 de P e 0,07 de S.

Os conteúdos de nutrientes por parcela e por pixel (valor médio da parcela) para todos os componentes das árvores somados e somente para as folhas estão nos Anexos 7, 8, 9 e 10.

5.4 VALORES DE REFLECTÂNCIA

Os valores de reflectância referentes a cada banda e aos índices de vegetação são apresentados na Tabela 11. Estes valores entraram no modelo como variáveis independentes. A reflectância média nas parcelas foi a seguinte: 0,018667 para a Banda Azul (MS-1), 0,030048 para a Banda Verde (MS-2), 0,02466903 para a Banda Vermelha

(MS-3), 0,2522353 para a Banda no Infravermelho Próximo (MS-4). Para os índices de vegetação, as médias foram: 10,451681 para a Razão de Bandas (MS-3/MS-4), 0,820012 para o NDVI $((MS-3 - MS-4) / (MS-3 + MS-4))$ e 0,437605 para o SAVI $((MS-3 - MS-4) / (MS-3 + MS-4 + L) \times 1 + L)$.

O que se pode notar é que os valores de reflectância na banda individuais do infravermelho próximo são bem mais altos do que nas demais bandas. Isto ocorre porque nesta parte do espectro eletromagnético a curva de reflectância da vegetação tem um aumento significativo. Os valores de reflectância aumentam ainda mais quando se aplicam os índices de vegetação, confirmando a eficiência destes índices no realce das áreas vegetadas nas imagens de satélite.

TABELA 11 – VALORES DE REFLECTÂNCIA NO PIXEL MÉDIO EM CADA PARCELA (adimensional)

Parcela	BLUE	GREEN	RED	NIR	RAZAO	NDVI	SAVI
1	0,027443	0,037535	0,028300	0,200574	7,087349	0,752700	0,354534
2	0,023374	0,038201	0,027031	0,240557	8,899138	0,797962	0,417265
3	0,022838	0,035353	0,029867	0,254915	8,534998	0,790246	0,430147
4	0,024420	0,038976	0,028545	0,237683	8,326502	0,785557	0,409416
5	0,019361	0,032638	0,028993	0,267948	9,241817	0,804722	0,449760
6	0,021280	0,034516	0,029073	0,321405	11,054937	0,834093	0,515589
7	0,019362	0,028893	0,028155	0,217738	7,733546	0,770998	0,381254
8	0,014826	0,030167	0,018770	0,213762	11,388418	0,838559	0,399283
9	0,017582	0,031696	0,024356	0,317870	13,051190	0,857663	0,522748
10	0,015175	0,026184	0,025921	0,253523	9,780653	0,814482	0,438009
11	0,018315	0,028893	0,027149	0,222001	8,177041	0,782065	0,390146
12	0,016396	0,026540	0,020446	0,209852	10,263836	0,822441	0,389032
13	0,014129	0,027404	0,018105	0,231820	12,804130	0,855116	0,427473
14	0,016571	0,024087	0,022960	0,232724	10,136249	0,820406	0,416373
15	0,016571	0,027148	0,021116	0,251986	11,933221	0,845359	0,447941
16	0,017001	0,028391	0,024077	0,267882	11,125839	0,835063	0,461774
17	0,017966	0,027334	0,026144	0,279214	10,679924	0,828766	0,471349
18	0,018489	0,027923	0,024468	0,264568	10,812811	0,830692	0,456443
19	0,016222	0,025984	0,019776	0,276819	13,997972	0,866649	0,484017
20	0,016013	0,023103	0,020127	0,281864	14,004052	0,866703	0,489538

Fonte: WATZLAWICK (2003)

5.5 GERAÇÃO DAS EQUAÇÕES

Para gerar as equações foi utilizado o método de eliminação de variáveis *Stepwise*. Após eliminar as variáveis que não estavam contribuindo significativamente para o modelo, as equações ajustadas para cada nutriente são apresentadas na Tabela 12.

TABELA 12 - EQUAÇÕES AJUSTADAS PARA CADA NUTRIENTE

Nutriente	Equação Ajustada	R ² Ajustado	Erro Padrão	F
N	$N = 0,986890 - 27,721770 * BLUE - 0,029637 * RAZÃO$	0,5256	0,064718	11,5*
S	$S = 0,093182 - 1,84144 * BLUE - 0,09988 * SAVI$	0,4559	0,006886	8,96**
P	$P = 0,156168 - 2,137157 * BLUE - 0,128161 * NDVI$	0,3996	0,006031	7,32***
K	$K = 1,143371 - 16,2131 * BLUE - 0,92311 * NDVI$	0,4162	0,044902	7,77***
Ca	$Ca = 1,915491 - 24,1921 * BLUE - 1,66845 * NDVI$	0,3133	0,07800	5,33***
Mg	$Mg = 0,081677 - 3,02089 * BLUE$	0,2302	0,017971	6,68**

* Significativo ao nível de 1% de Probabilidade; ** Significativo ao nível de 5% de Probabilidade; *** Significativo ao nível de 10% de Probabilidade

Nota-se que a banda Azul apareceu em todas as equações e que as bandas do Vermelho e do Infravermelho Próximo estão presentes nos índices de vegetação NDVI, SAVI e RAZÃO, já que elas fazem parte das fórmulas para o cálculo destes índices. Estas bandas então foram as que mais contribuíram para gerar as equações dos nutrientes. A presença dos índices de vegetação nas equações finais mostra um aumento na correlação destes com a biomassa de folhas, confirmando a sua eficácia no realce da vegetação em imagens de satélite.

Os níveis de significância indicam a confiança da equação gerada e quanto mais próximo de 99% melhor é a equação. Os níveis de confiança de 95% e 90% tiveram que ser adotados para tornar possível a geração das equações para os elementos S, Mg, P, K e Ca.

Os valores obtidos para o R² e os coeficientes de correlação ainda são baixos, visto que a metodologia utilizada para a quantificação da biomassa e dos nutrientes não foi desenvolvida especificamente para este trabalho.

5.6 GERAÇÃO DOS MAPAS DOS NUTRIENTES

O mapeamento dos nutrientes na área de estudo foi feito utilizando-se somente as quantidades de nutrientes presentes nas folhas.

As equações geradas para cada nutriente, de acordo com a Tabela 12, foram aplicadas na imagem de satélite. Para cada elemento gerou-se uma imagem e o valor de cada pixel nesta imagem resultante continha o conteúdo de nutriente estimado pelas equações.

Para uma melhor visualização da distribuição dos macronutrientes, em cada imagem foram atribuídas classes onde a quantidade de cada elemento foi estimada, em Ton.ha^{-1} . Estas classes tiveram então suas respectivas áreas calculadas.

CALDEIRA (2003) quantificou, na mesma área de estudo, os seguintes conteúdos de nutrientes presentes nas folhas: 0,100 Ton.ha^{-1} de N; 0,00688 Ton.ha^{-1} de P; 0,05049 Ton.ha^{-1} de K; 0,05462 Ton.ha^{-1} de Ca; 0,01559 Ton.ha^{-1} de Mg e 0,00274 Ton.ha^{-1} de S.

Neste trabalho, o conteúdo médio de nutrientes nas folhas foi: 0,0998 Ton.ha^{-1} de N; 0,007 Ton.ha^{-1} de P; 0,0523 Ton.ha^{-1} de K; 0,0158 Ton.ha^{-1} de Ca; 0,2442 Ton.ha^{-1} de Mg e 0,0094 Ton.ha^{-1} de S.

Nas Figuras 15, 16, 17, 18, 19 e 20 estão quantificados os nutrientes apenas nas áreas de vegetação nativa, excluindo os plantios de *Pinus taeda* e *Araucaria angustifolia*, bem como áreas sem construções, estradas, cobertura de nuvens e sombra.

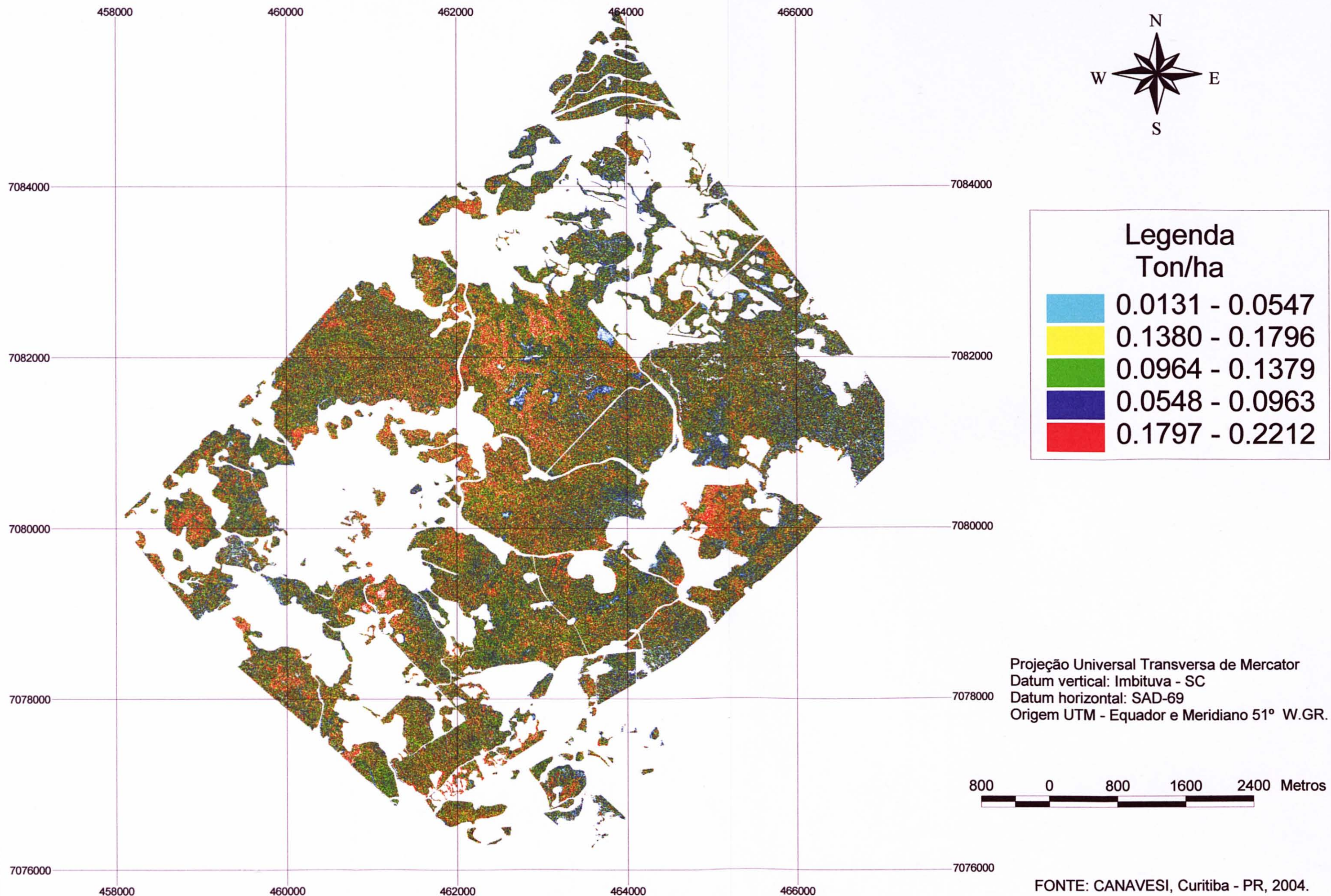
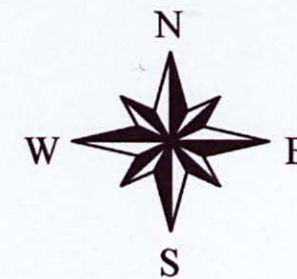
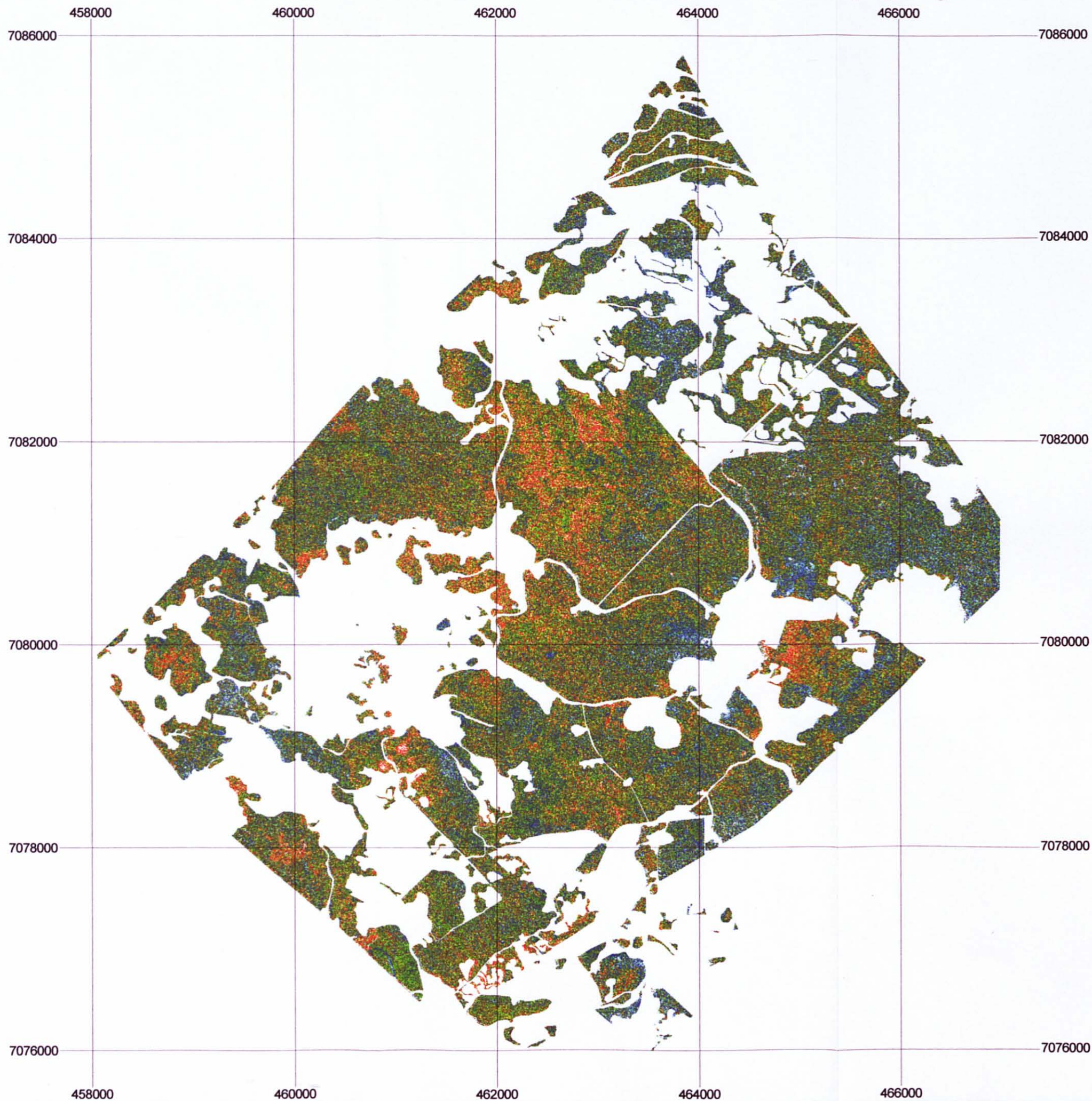


Figura 16 - Conteúdo de Fósforo Ton/ha¹ nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro (PR), Imagem IKONOS II 2001



Blue	0.0041 - 0.0074
Green	0.0075 - 0.0109
Red	0.0144 - 0.0180
Yellow	0.0110 - 0.0143
Cyan	0.0006 - 0.0040

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum vertical: Imbituva - SC
Datum horizontal: SAD-69
Origem UTM - Equador e Meridiano 51° W.GR.



FONTE: CANAVESI, Curitiba - PR, 2004.

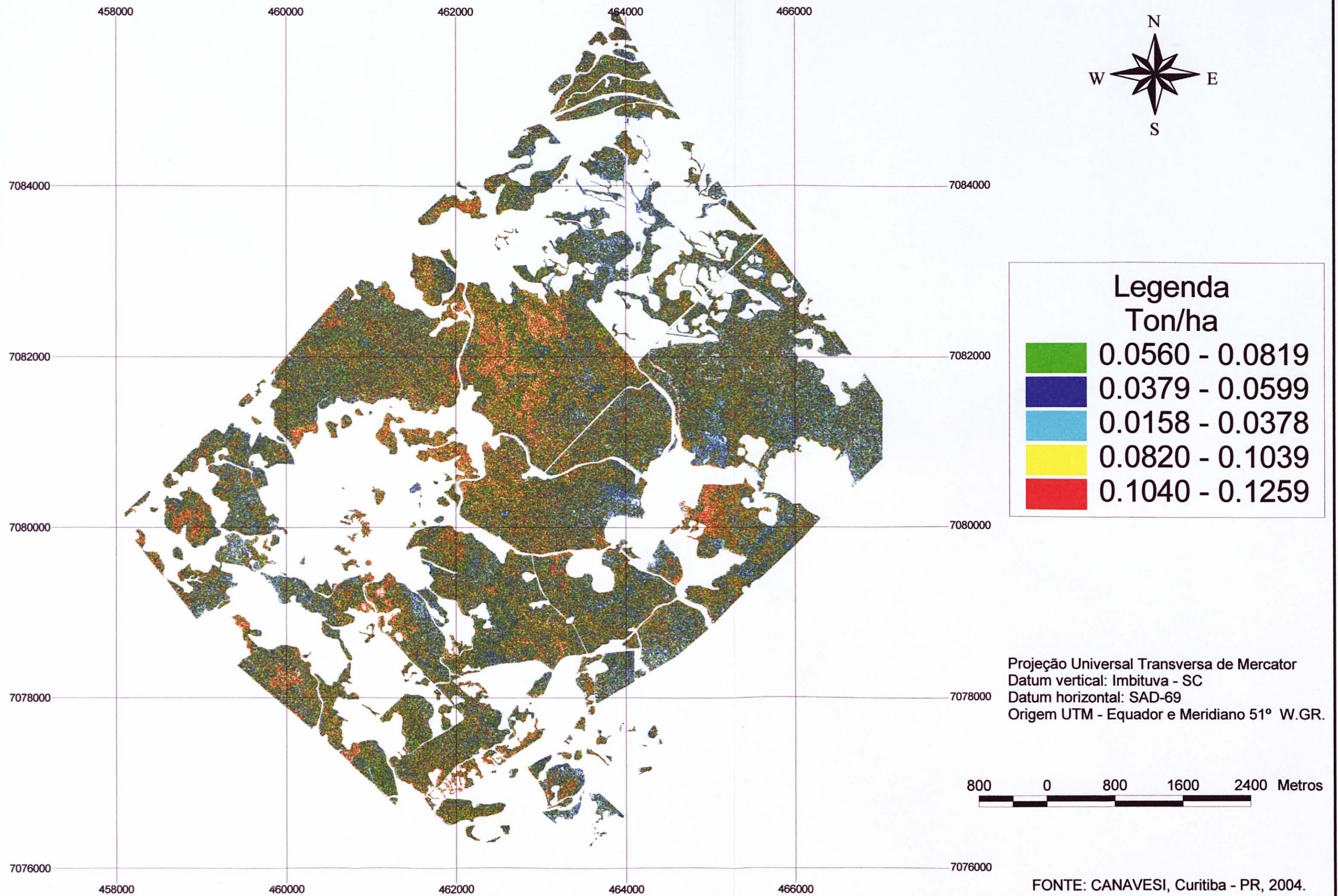
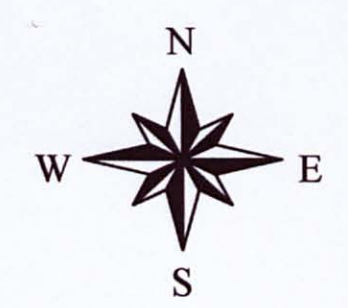
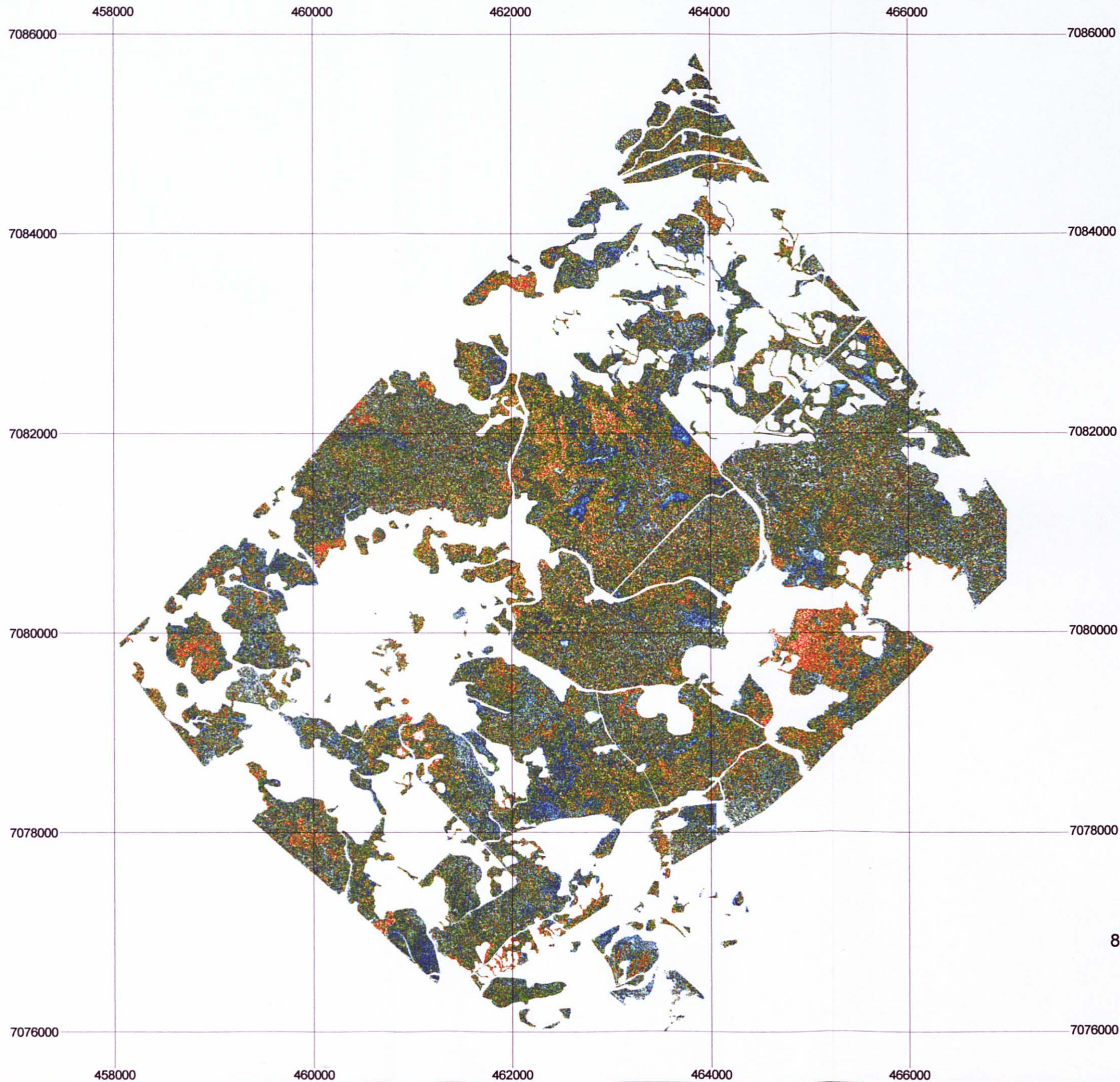


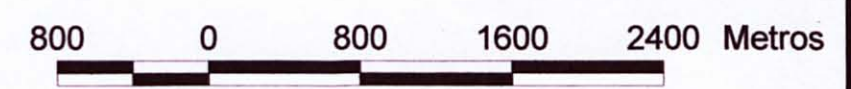
Figura 18 - Conteúdo de Enxofre Ton/ha¹ nas folhas da Floresta Ombrófila Mista, General Carneiro (PR), Imagem IKONOS II 2001



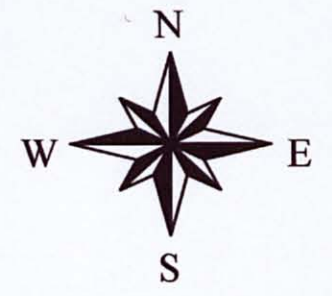
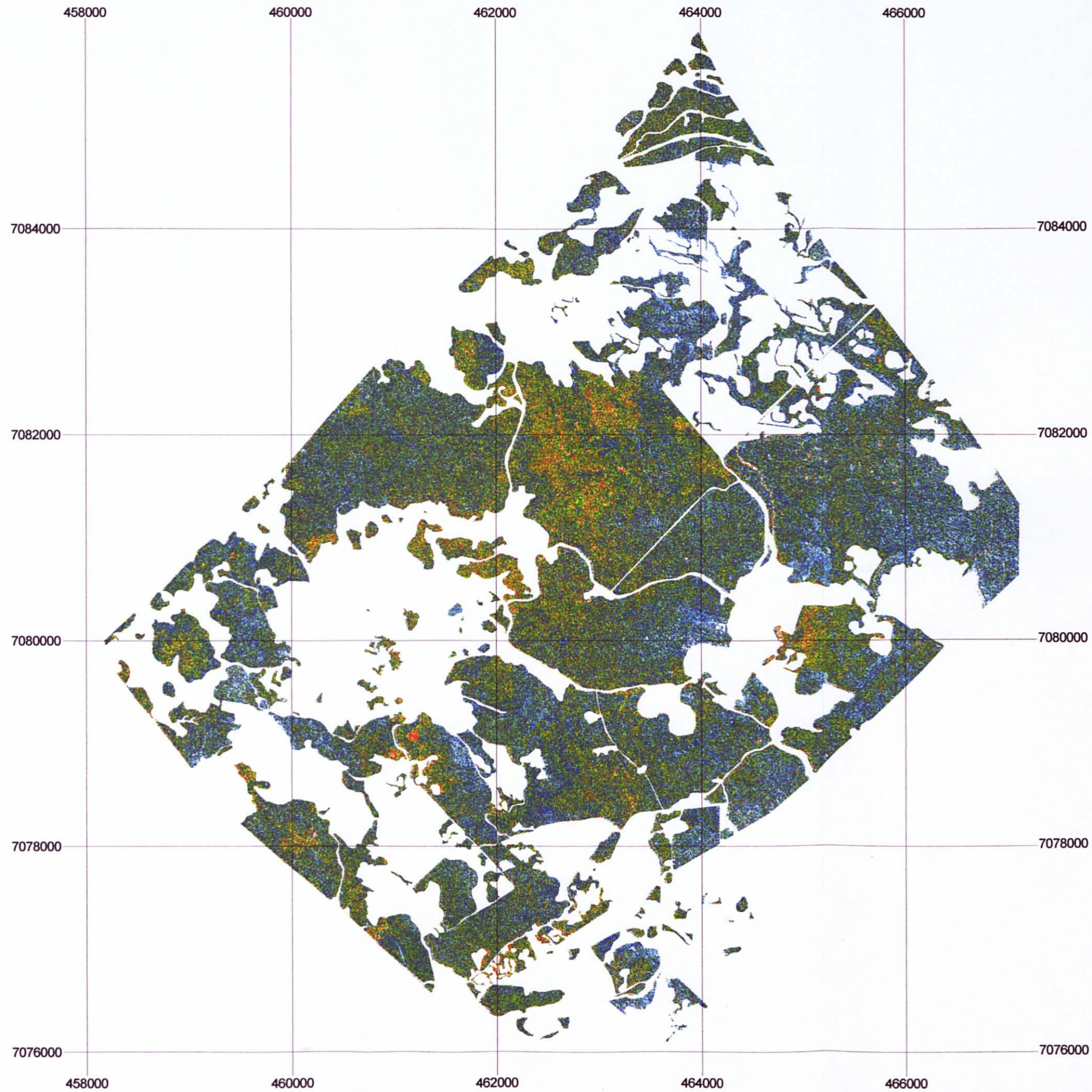
**Legenda
Ton/ha**

0.0101 - 0.0144
0.0057 - 0.0100
0.0013 - 0.0056
0.0145 - 0.0188
0.0189 - 0.2313

Projeção Universal Transversa de Mercator
Datum vertical: Imbituva - SC
Datum horizontal: SAD-69
Origem UTM - Equador e Meridiano 51° W.GR.



FONTE: CANAVESI, Curitiba - PR, 2004.

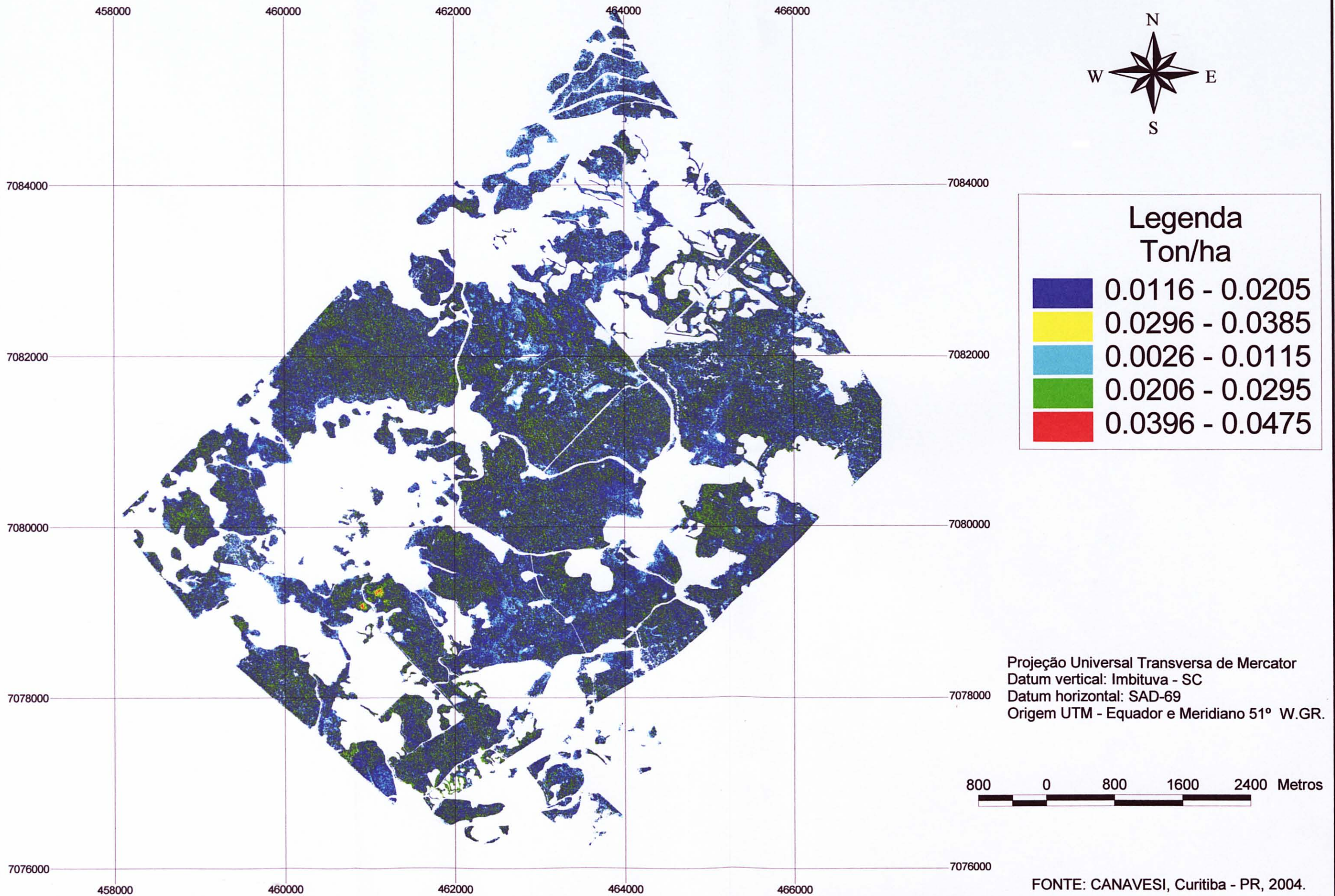


**Legenda
Ton/ha**

	0.0960 - 0.1413
	0.0507 - 0.0959
	0.0051 - 0.0506
	0.1414 - 0.1867
	0.1868 - 0.2321

Projeção Universal Transversa de Mercator
 Datum vertical: Imbituva - SC
 Datum horizontal: SAD-69
 Origem UTM - Equador e Meridiano 51° W.GR.





6 CONCLUSÕES

De posse dos resultados obtidos neste trabalho, conclui-se:

- Os teores de macronutrientes geralmente apresentavam valores mais elevados nas folhas, com exceção do elemento Ca que apresentou um teor maior na casca;
- Os teores médios dos macronutrientes presentes nas folhas amostradas nas espécies com diâmetro ≤ 10 cm seguiram a seguinte ordem: $N > K > Ca > Mg > S > P$;
- As análises estatísticas mostraram uma baixa correlação entre as variáveis dependentes (nutrientes) e as variáveis independentes (valores de refletância) quando se utilizaram os teores de nutrientes em todos os componentes das árvores somados (fuste + casca + galhos + folhas + miscelânea). Os maiores coeficientes de correlação foram: N 0,26; S 0,20 e P 0,27 (na banda do Infravermelho próximo); K 0,25 e Ca 0,22 (na banda do azul) e Mg 0,30 (na banda do vermelho);
- Os maiores coeficientes de correlação entre as variáveis dependentes e as independentes, quando se utilizou somente o teor de nutrientes nas folhas foram: N 0,60; S 0,55; P 0,57; K 0,59; Ca 0,48 e Mg 0,52. Estas correlações ocorreram sempre em relação aos valores de refletância na banda do azul;
- A Floresta Ombrófila Mista, assim como a maioria das florestas nativas, apresenta uma alta diversidade. Como a área trabalhada contemplava vários estágios sucessionais, um aumento do número de parcelas em cada estágio possibilitaria que os dados de biomassa, e conseqüentemente os conteúdos de nutrientes, fossem agrupados em classes, diminuindo assim a discrepância entre eles;

- As equações ajustadas geradas neste trabalho restringem-se para a área de estudo. Esta metodologia pode ser aplicada em outras florestas e povoamentos desde que se tenham informações de campo, como biomassa e nutriente, para que se possa comparar os dados e gerar equações, permitindo espacializar as quantidades de nutrientes para uma área toda;
- Salienta-se a importância de tais quantificações para florestas nativas, das quais se têm poucas informações, visto a quantidade de ecossistemas existentes, bem como a alta diversidade dentro de cada um;
- O conhecimento do ciclo biogeoquímico nas florestas nativas aliado a quantificação de nutrientes, pode contribuir para a exploração ou mesmo a preservação florestal. A exportação de nutrientes durante a exploração florestal pode ser realizada de maneira mais racional, incorporando ao solo cascas, galhos e folhas, visto que eles são os maiores reservatórios de nutrientes em uma árvore. Nas florestas nativas é importante saber quanto dos nutrientes são fixados pelas plantas e qual o ganho que o meio ambiente está tendo com a preservação destes ecossistemas;
- Os resultados deste trabalho mostram a possibilidade de se trabalhar com quantificações de nutrientes utilizando dados de campo (parcelas destrutivas) e dados provenientes de imagem de satélite de alta resolução.

7 RECOMENDAÇÕES

- O número de parcelas amostrais deveria ser aumentado para que os conteúdos de nutrientes por parcela fossem agrupados em classes, diminuindo assim grandes variações nos dados;
- O sorteio das parcelas utilizadas para o levantamento da biomassa poderia ter sido sistemático, onde o número de parcelas dentro de cada estágio sucessional fosse proporcional à área ocupada por ele;
- Utilizar outros índices de vegetação, já que eles mostraram ser eficientes para este tipo de estudo, participando da maioria das equações;
- Avaliar a utilização de outros métodos de amostragem, para que as dimensões das copas das árvores possam ser relacionadas com diâmetro do fuste, gerando assim uma relação direta entre a biomassa de folhas e a biomassa do fuste.

8 BIBLIOGRAFIA

AUSTIN, J.M., MACKEY, B.G., NIEL, K.P.V. Estimating forest biomass using satellite radar: an exploratory study in a temperate Australian *Eucalyptus* forest. **Forest Ecology and Management**, n. 176, p 575-583, 2003.

ASSUNÇÃO, G.V., FORMAGGIO, A.R. **O sensoriamento remoto na agricultura: conceitos Básicos, metodologias e aplicações**. São José dos Campos, INPE: 1989. 217 p.

AWAD, M. (1929) **Introdução à fisiologia vegetal**. Tradução Paulo Roberto de Camargo e Castro. São Paulo. Ed. Nobel, 177 p.1983.

CALDEIRA, M.V.W. **Biomassa, serapilheira acumulada e nutrientes em uma Floresta Ombrófila Mista Montana em General Carneiro, Paraná**. UFPR: Curitiba. 2003. 169 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, 2003.

CERRI, C.C., CHAPLOT, V., CERRI, C.E.P. **Ciclagem de nutrientes e sustentabilidade agrícola**. Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA). Universidade de São Paulo. 2001.

CURRAN, P.J. **Principles of remote sensing**. New York, USA 282 p. 1986.

DONG, J., KAUFMANN, R.K., MYNENI, R.B., TUCKER, C.J., KAUPPI, P.E., LISKI, J., BUERMANN, W., ALEXEYEV, V. e HUGHES, M.K. Remote sensing estimates of boreal and temperate forest wood biomass: carbon pools, sources, and sinks. **Remote Sensing of Environment**. n. 84, p 393-410, 2003.

DRUMOND, M.A. **Distribuição da biomassa arbórea e dos nutrientes em plantações puras e consorciadas de *Liquidambar styraciflua* L. e *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Bar. Et Golf**. ESALQ: Piracicaba. 1985. 87 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiros", 1985.

FODDY, G.M., BOYD, D.S. e CUTLER, M.E.J. Predictive relations of tropical forest biomass from Landsat TM data and their transferability between regions. **Remote Sensing of Environment**. n. 85, p. 463–474, 2003.

GAVEAU, D.L.A., BALZTER, H. e PLUMMER, S. Forest wood biomass classification with satellite-based radar coherence over 900.000 Km² in Central Siberia. **Forest Ecology and Management**. n. 174, p 65-75. 2003.

HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: SWAIN, P.H.; DAVIS, S.M., Ed. **Remote Sensing the Quantitative Approach**, New York: McGraw Hill, 1978. cap. 5, p. 89-228.

HOWARD, J.A. **Remote Sensing of Forest Resources**. London: Chapman & Hall, 1991.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Manual técnico da vegetação brasileira: série manuais técnicos em geociências**. 1992. 92p. Rio de Janeiro, n.1, 1992.

JENSEN, J.R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective**. Ed. 2, USA. 316 p. 1996.

LACRUZ, P.M.S. et al.. Utilização do sensoriamento remoto e dados de campo para modelagem das atividades biogeoquímicas na Floresta Nacional de Tapajós. In: SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 10 p., 2001. Foz do Iguaçu, 2001. **Anais...** Sessão pôster. CD-ROM.

LARCHER, W. (1929) **Ecofisiologia Vegetal**. Tradução: Antônio de Pádua Danesi, Hildegrad T. Backup– São Paulo: EPU, 319 p. 1986.

LEITE, P.F.; KLEIN, R.M. Vegetação. In: **Geografia do Brasil – Região Sul**. Rio de Janeiro: IBGE. V.2, p.113-150, 419p. 1990.

LILLESAND, T. M.; KIEFER, R. W. **Remote sensing and image interpretation – Ed.2**. United States of America. 721 p. 1987.

LO, C.P. **Applied Remote Sensing**, University of Georgia. cap. 5, 393 p. 1987.

LUCKMAN, A., BAKER, J., HONZÁK, M. e LUCAS, R. Tropical biomass forest density estimation using JERS-1 SAR: seasonal variation, confidence limits and application to image mosaics. **Remote Sensing of Environment**. n. 63, p. 126-139. 1998.

MAACK, R. **Geografia física do Estado do Paraná**. Curitiba: Livraria José Olympio, 1968. 442p.

MALAVOLTA, E. Absorção e transporte de íons. In: FERRI, M.G. (Coord.). **Fisiologia Vegetal**, São Paulo: EPU: Ed. da Universidade de São Paulo. v. 1, p. 77-98. 350 p. 1979

MILLER, H.G. Dynamics of Nutrient Cycling in Plantation Ecosystems. In: BOWEN, G.D., NAMBIAR, E.K.S. **Nutrition of Plantation Forests**. Academic Press. London. p. 53-78. 516 p. 1984.

MINEROPAR. Mapas geológicos do Estado do Paraná: Unidades Estratigráficas. Minerais do Paraná S.A., Governo do Paraná, Secretaria de Estado da Indústria, do Comércio e do Turismo (SEIT) <http://www.celepar.br/mineropar/cpt1text.html> 2002.

MOREIRA, M.A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), 63-91, 157-166. 250 p. 2001.

NEVES, E.J.M. **Biomassa e acúmulo de nutrientes nos diferentes compartimento de *Ceiba pentandra* (L.) e *Virola surinamensis* (Rol.) Warb palntadas na Amazônia central brasileira**. UFPR: Curitiba. 1999. 189 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, 1999.

NILSSON, L.O., HÜTTL R.F., JOHANSSON, U.T. e JOCHHEIM, H. Nutrient uptake and cycling in Forest ecosystems - present status and future research directions. In: NILSSON, L.O., HÜTTL, R.F., JOHANSSON, U.T. (Ed.). **Nutrient uptake and Cycling in forest ecosystems**. USA: Kluwer academic publishers, 1995, 685 p. p 5-13.

NILSSON, L. e WIKLUND, K. Nutrient balance and P, K, Ca, Mg, S and B accumulation in a Norway spruce stand following ammonium sulphate application, fertigation, irrigation, drought and N-free-fertilisation. In: NILSSON, L.O., HÜTTL, R.F. e JOHANSSON, U.T. (Ed.) **Nutrient uptake and cycling in forest ecosystems**. USA: Kluwer academic publishers, 1995, 685 p.

PARANÁ. Superintendência de desenvolvimento de recursos e saneamento ambiental. **Atlas de Recursos Hídricos do Estado do Paraná**. Curitiba, 1998. 32 p.

PARANÁ, Secretaria do Estado de Agricultura e Abastecimento, Instituto de Terras, Cartografia e Florestas. **Atlas do Estado do Paraná**. Curitiba, 1987. 73 p.

RAPP, N. El ciclo biogeoquímico en un bosque de pino carrasco. In: GAUTHIER-VILLARS (Ed.) **Ecologia Forestal. El bosque: clima, suelo, árboles, fauna**. Espanha, 1978, 393 p.

RODIN, L.E., BAZILEVICH, N.I. **Production and mineral cycling in terrestrial vegetation**. Londres, 288 p., 1967.

SANTOS, V.D. **Ciclagem de nutrientes minerais em mata tropical subcaducifolia dos planaltos do Paraná (Parque Estadual Vila Rica do Espírito Santo – Fênix/PR)** UFSC: São Carlos. 1989. 387 p. Tese (Doutorado) Universidade Federal de São Carlos. 1989.

THIAM, A.; EASTMAN, R. Vegetation Indices. In: **Guide To and Image Processing**. v. 2. IDRISI32. 170p. 1999.

VERBYLA, D. **Satellite remote sensing of natural resources**. New York. USA. 198 p. 1995.

WATZLAWICK, L.F. **Análise e estimativa de biomassa e carbono em floresta ombrófila mista e plantações florestais a partir de dados do satélite IKONOS II**. UFPR: Curitiba. 2003. 119 p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) Universidade Federal do Paraná, 2003.

YAMAJI, F.M.. **Análise fractal de uma Floresta Ombrófila Mista através de imagem de satélite**. UFPR: Curitiba. 2001. 91p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade Federal do Paraná, 2001.

ZERBINI, N.J. **Estimativa de fitomassa aérea em região de floresta tropical com uso de dados de TM-Landsat 5 e HRV-SPOT 1**. INPE: São José dos Campos, 1992. 127 p. (INPE-5500-TDI/515). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1992.

ANEXOS

ANEXO 1 – CONTEÚDO DE NITROGÊNIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (em Kg)

Espécie	Nitrogênio				
	madeira	casca	galhos	folhas	misc.
<i>Allophyllus edulis</i>	0.005163	0.015810	0.010587	0.028790	0.019403
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.001827	0.005855	0.003967	0.014617	0.009355
<i>Calypttranthes concinna</i>	0.001890	0.004915	0.003400	0.013890	0.015310
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.006800	0.009640	0.010395	0.021540	0.014930
<i>Casearia decandra</i>	0.004030	0.010710	0.009070	0.028820	0.018050
<i>Clethra scabra</i>	0.003450	0.006610	0.005860	0.023450	0.019560
<i>Cupania vernalis</i>	0.002833	0.009450	0.007497	0.018683	0.015380
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0.004063			0.021060	0.013230
<i>Drimys brasiliensis</i>	0.002650	0.004720	0.000530	0.021890	0.014740
<i>Ilex dumosa</i>	0.003780	0.013855	0.005855	0.021293	0.018077
<i>Ilex microdonta</i>	0.002207	0.004720	0.006177	0.015560	0.013163
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.003403	0.009703	0.007937	0.025577	0.020220
<i>Ilex theezans</i>	0.000220	0.006800	0.000510	0.024570	0.000850
<i>Jacaranda puberula</i>	0.007180	0.007290	0.007590	0.018880	0.009235
<i>Lamanonia ternata</i>	0.002080	0.004910	0.007940	0.014550	0.013420
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0.001890	0.004850	0.004343	0.021167	0.009513
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0.002830	0.008880	0.004720	0.025610	0.019560
<i>Mimosa scabrella</i>	0.004723	0.015405	0.011403	0.037603	0.021640
<i>Myrcia sp.</i>	0.002203	0.005103	0.003965	0.011245	0.013983
<i>Myrsine ferruginea</i>	0.002740	0.008130	0.006613	0.024630	0.012095
<i>Myrsine umbellata</i>	0.002407	0.004343	0.003970	0.014043	0.014550
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.003467	0.011213	0.011150	0.024820	0.018805
<i>Ocotea porosa</i>	0.005860	0.012980	0.007683	0.024000	0.017700
<i>Ocotea puberula</i>	0.003653	0.018517	0.010080	0.026393	0.020220
<i>Ocotea pulchella</i>	0.003305	0.006800	0.009635	0.020245	0.011550
<i>Persea major</i>	0.003540	0.007850	0.000470	0.017010	0.014740
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0.002953	0.008123	0.008753	0.028617	0.017700
<i>Prunus brasiliensis</i>	0.002650	0.005440	0.009070	0.027650	0.000930
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0.003020	0.006990	0.008690	0.025320	0.016320
<i>Sapium glandulatum</i>	0.003273	0.011023	0.013923	0.034397	0.019403
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0.003970	0.009640	0.006610	0.026460	0.019840
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0.000310	0.006990	0.000400	0.019470	0.020410
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0.006240	0.019280	0.013250	0.027780	0.022490
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0.003970	0.005100	0.004540	0.014360	0.012660
<i>Styrax leprosus</i>	0.002557	0.006330	0.005653	0.018615	0.020030
<i>Symplocos celastrina</i>	0.002380	0.006610	0.006050	0.018710	0.000000
<i>Symplocos uniflora</i>	0.002520	0.004630	0.008690	0.018895	0.013923
<i>Vernonia discolor</i>	0.002650	0.005480	0.004720	0.033070	0.017580
<i>Xylosma sp.</i>	0.000200	0.000370	0.000400	0.000730	0.000900

Fonte: Caldeira (2003)

ANEXO 2 – CONTEÚD DE ENXOFRE POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (em Kg)

Espécie	Enxofre				
	madeira	casca	galhos	folhas	misc.
<i>Allophyllus edulis</i>	0.000550	0.001913	0.001453	0.003203	0.002973
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.000743	0.001375	0.001670	0.001420	0.001530
<i>Calyptanthes concinna</i>	0.004080	0.002090	0.002975	0.002790	0.002870
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.001515	0.001810	0.001480	0.002080	0.002720
<i>Casearia decandra</i>	0.001427	0.001455	0.001700	0.001920	0.001773
<i>Clethra scabra</i>	0.001350	0.001560	0.000790	0.001970	0.001830
<i>Cupania vernalis</i>	0.000347	0.001500	0.000750	0.003280	0.001717
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0.001287			0.001840	0.001630
<i>Drimys brsiliensis</i>	0.000470	0.001460	0.001120	0.001090	0.001840
<i>Ilex dumosa</i>	0.000440	0.000950	0.001207	0.001675	0.002583
<i>Ilex microdonta</i>	0.000353	0.000930	0.000780	0.001693	0.001227
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.000480	0.001393	0.000680	0.001760	0.003075
<i>Ilex theezans</i>	0.000620	0.001820	0.001220	0.002250	0.001840
<i>Jacaranda puberula</i>	0.000440	0.000620	0.001520	0.001410	0.001960
<i>Lamanonia ternata</i>	0.000200	0.000900	0.000730	0.001410	0.001760
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0.000193	0.001437	0.000847	0.001570	0.001580
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0.000320	0.000590	0.000360	0.002590	0.001213
<i>Mimosa scabrella</i>	0.000280	0.001687	0.000720	0.001617	0.001995
<i>Myrcia sp.</i>	0.000333	0.000880	0.001685	0.001225	0.003090
<i>Myrsine ferruginea</i>	0.002985	0.002167	0.001993	0.002463	0.002640
<i>Myrsine umbellata</i>	0.000367	0.000870	0.001185	0.002050	0.001685
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.000620	0.000640	0.000580	0.001967	0.001445
<i>Ocotea porosa</i>	0.001897	0.001807	0.001440	0.002180	0.002193
<i>Ocotea pulchella</i>	0.000430	0.001040	0.000625	0.001970	0.001380
<i>Ocotea puberula</i>	0.001817	0.001883	0.000813	0.002117	0.003290
<i>Persea major</i>	0.000750	0.001120	0.000500	0.002150	0.001560
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0.000357	0.002293	0.001547	0.002217	0.001563
<i>Prunus brasiliensis</i>	0.000500	0.000480	0.000390	0.000890	0.001600
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0.001480	0.001230	0.000880	0.002250	0.002230
<i>Sapium glandulatum</i>	0.000903	0.003397	0.002387	0.001717	0.002027
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0.001070	0.002040	0.000840	0.002070	0.001800
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0.000440	0.000850	0.000510	0.001520	0.002800
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0.000390	0.001390	0.000500	0.000520	0.003160
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0.000280	0.000890	0.000420	0.001720	0.001320
<i>Styrax leprosus</i>	0.000323	0.000535	0.000745	0.001470	0.001660
<i>Symplocos celastrina</i>	0.000170	0.001790	0.000600	0.004580	0.004260
<i>Symplocos uniflora</i>	0.001623	0.001650	0.001393	0.002600	0.002837
<i>Vernonia discolor</i>	0.000670	0.000710	0.000330	0.002750	0.001160
<i>Xylosma sp.</i>	0.000660	0.000530	0.000620	0.002490	0.001440

Fonte: Caldeira (2003)

ANEXO 3 – CONTEÚDO DE FÓSFORO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (em Kg)

Espécie	Fósforo				
	madeira	casca	galhos	folhas	misc.
<i>Allophyllus edulis</i>	0.000560	0.001090	0.001120	0.001940	0.001533
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.000107	0.000195	0.000447	0.001440	0.000670
<i>Calyptranthes concinna</i>	0.000750	0.000295	0.000710	0.000710	0.000960
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.000230	0.000470	0.000770	0.001290	0.001240
<i>Casearia decandra</i>	0.000213	0.000397	0.000583	0.001327	0.000953
<i>Clethra scabra</i>	0.000250	0.000680	0.000640	0.001620	0.001860
<i>Cupania vernalis</i>	0.000247	0.000493	0.000520	0.001870	0.001063
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0.001097			0.001720	0.001317
<i>Drimys brasiliensis</i>	0.000070	0.000280	0.000680	0.001690	0.000960
<i>Ilex dumosa</i>	0.000095	0.000330	0.000863	0.001050	0.001360
<i>Ilex microdonta</i>	0.000090	0.000247	0.000360	0.000783	0.000947
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.000223	0.000360	0.000737	0.001167	0.000843
<i>Ilex theezans</i>	0.000230	0.000280	0.000500	0.001120	0.000890
<i>Jacaranda puberula</i>	0.000335	0.000390	0.000855	0.001290	0.000820
<i>Lamanonia ternata</i>	0.000120	0.000280	0.000440	0.000970	0.000730
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0.000200	0.000290	0.000590	0.001680	0.000990
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0.000140	0.000470	0.000250	0.001930	0.001500
<i>Mimosa scabrella</i>	0.000070	0.000367	0.000150	0.001727	0.001490
<i>Myrcia sp.</i>	0.000263	0.000353	0.000465	0.000670	0.000993
<i>Myrsine ferruginea</i>	0.000130	0.000523	0.000593	0.001900	0.000750
<i>Myrsine umbellata</i>	0.000583	0.000373	0.000240	0.000913	0.001045
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.000120	0.000545	0.000640	0.001043	0.001100
<i>Ocotea porosa</i>	0.000177	0.000373	0.000443	0.001013	0.000997
<i>Ocotea puberula</i>	0.000093	0.000650	0.000433	0.001440	0.001110
<i>Ocotea pulchella</i>	0.000155	0.000250	0.000560	0.000905	0.000630
<i>Persea major</i>	0.001190	0.000440	0.000640	0.000940	0.000810
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0.000160	0.000287	0.000350	0.001330	0.000860
<i>Prunus brasiliensis</i>	0.000070	0.000480	0.000470	0.000980	0.001290
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0.000070	0.000260	0.000300	0.000830	0.001020
<i>Sapium glandulatum</i>	0.002587	0.000537	0.001190	0.001953	0.001007
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0.000260	0.000630	0.000260	0.001130	0.001780
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0.000330	0.000260	0.000530	0.001050	0.001530
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0.000820	0.000590	0.000590	0.001630	0.001370
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0.000400	0.000530	0.000530	0.001040	0.001120
<i>Styrax leprosus</i>	0.000257	0.000310	0.000427	0.001470	0.001120
<i>Symplocos celastrina</i>	0.000070	0.000290	0.000460	0.003050	0.001050
<i>Symplocos uniflora</i>	0.000190	0.000265	0.000347	0.001215	0.000857
<i>Vernonia discolor</i>	0.000310	0.000400	0.000370	0.002890	0.000840
<i>Xylosma sp.</i>	0.000220	0.000310	0.000470	0.000940	0.000900

Fonte: Caldeira (2003)

ANEXO 4 – CONTEÚDO DE POTÁSSIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (em Kg)

Espécie	Potássio				
	madeira	casca	galhos	folhas	misc.
<i>Allophyllus edulis</i>	0.005470	0.006350	0.006887	0.010167	0.006720
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.006583	0.006480	0.007717	0.009637	0.006970
<i>Calypttranthes concinna</i>	0.005410	0.006480	0.006480	0.008565	0.007810
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.007035	0.006980	0.006885	0.001290	0.008420
<i>Casearia decandra</i>	0.009480	0.007683	0.007637	0.014235	0.007640
<i>Clethra scabra</i>	0.008540	0.008270	0.007200	0.012250	0.008410
<i>Cupania vernalis</i>	0.005540	0.006347	0.006497	0.011013	0.009135
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0.007680			0.013630	0.008647
<i>Drimys brasiliensis</i>	0.001090	0.005210	0.006700	0.009120	0.008230
<i>Ilex dumosa</i>	0.005930	0.005670	0.006793	0.011190	0.007580
<i>Ilex microdonta</i>	0.005113	0.005530	0.006663	0.006983	0.006897
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.006327	0.006333	0.008380	0.016037	0.008310
<i>Ilex theezans</i>	0.005350	0.004670	0.005080	0.006760	0.006920
<i>Jacaranda puberula</i>	0.005315	0.006250	0.006445	0.007800	0.006555
<i>Lamanonia ternata</i>	0.006870	0.005020	0.008730	0.006130	0.008840
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0.006380	0.007570	0.007717	0.011663	0.008140
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0.005350	0.005800	0.008320	0.009490	0.007640
<i>Mimosa scabrella</i>	0.006800	0.007170	0.006953	0.007543	0.011740
<i>Myrcia sp.</i>	0.005947	0.006670	0.007145	0.008725	0.008363
<i>Myrsine ferruginea</i>	0.006960	0.009453	0.009590	0.015003	0.008400
<i>Myrsine umbellata</i>	0.006473	0.006033	0.007027	0.009657	0.008780
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.005687	0.006175	0.007560	0.009330	0.007810
<i>Ocotea porosa</i>	0.006607	0.006560	0.006553	0.009950	0.008960
<i>Ocotea puberula</i>	0.007127	0.009493	0.008400	0.011410	0.008677
<i>Ocotea pulchella</i>	0.006795	0.006810	0.006600	0.009460	0.007025
<i>Persea major</i>	0.006470	0.008450	0.005870	0.010020	0.005630
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0.006560	0.008297	0.008837	0.009673	0.006603
<i>Prunus brasiliensis</i>	0.001090	0.004120	0.006450	0.008120	0.006760
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0.005020	0.007240	0.006940	0.008730	0.006460
<i>Sapium glandulatum</i>	0.007380	0.012435	0.014470	0.022620	0.011785
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0.005350	0.006330	0.008770	0.009910	0.010390
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0.005450	0.005450	0.006370	0.007310	0.007850
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0.005240	0.005910	0.005780	0.008950	0.006590
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0.006310	0.007480	0.006700	0.007220	0.007050
<i>Styrax leprosus</i>	0.007733	0.006000	0.006470	0.005870	0.008040
<i>Symplocos celastrina</i>	0.005450	0.005980	0.006550	0.014750	0.007960
<i>Symplocos uniflora</i>	0.006430	0.007965	0.007570	0.007025	0.007053
<i>Vernonia discolor</i>	0.005930	0.011060	0.007680	0.025920	0.007090
<i>Xylosma sp.</i>	0.007220	0.006110	0.006350	0.008510	0.006390

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 5 – CONTEÚDO DE CÁLCIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (em Kg)

Espécie	Cálcio				
	madeira	casca	galhos	folhas	misc.
<i>Allophyllus edulis</i>	0.005700	0.020447	0.008263	0.010087	0.008767
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.001997	0.020000	0.004747	0.014335	0.007815
<i>Calypttranthes concinna</i>	0.002060	0.013940	0.005935	0.009330	0.014800
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.001935	0.012630	0.009800	0.010495	0.013000
<i>Casearia decandra</i>	0.006717	0.054667	0.016713	0.014250	0.014517
<i>Clethra scabra</i>	0.003100	0.004500	0.001690	0.009230	0.010120
<i>Cupania vernalis</i>	0.004467	0.016767	0.011750	0.008050	0.006475
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0.002067			0.009450	0.006550
<i>Drimys brasiliensis</i>	0.000270	0.003100	0.003100	0.003900	0.004300
<i>Ilex dumosa</i>	0.001345	0.007085	0.008870	0.008300	0.006713
<i>Ilex microdonta</i>	0.001567	0.043000	0.014900	0.011833	0.005940
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.001153	0.018500	0.005357	0.008027	0.004303
<i>Ilex theezans</i>	0.002000	0.023000	0.013850	0.010700	0.004420
<i>Jacaranda puberula</i>	0.001510	0.010000	0.005380	0.007190	0.003365
<i>Lamanonia ternata</i>	0.002400	0.035800	0.016000	0.016100	0.006500
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0.003247	0.017817	0.005487	0.005193	0.008835
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0.006600	0.028700	0.005320	0.008200	0.005600
<i>Mimosa scabrella</i>	0.001325	0.017183	0.007130	0.006837	0.005495
<i>Myrcia sp.</i>	0.001333	0.020800	0.004685	0.006455	0.007087
<i>Myrsine ferruginea</i>	0.002240	0.013437	0.007003	0.008227	0.006185
<i>Myrsine umbellata</i>	0.004893	0.029400	0.008080	0.009803	0.007800
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.001357	0.014500	0.007585	0.005767	0.008650
<i>Ocotea porosa</i>	0.001270	0.008060	0.006463	0.006667	0.007413
<i>Ocotea puberula</i>	0.001103	0.012140	0.005483	0.008133	0.008243
<i>Ocotea pulchella</i>	0.002835	0.027700	0.007410	0.008125	0.008250
<i>Persea major</i>	0.002890	0.018450	0.009200	0.014200	0.005300
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0.000730	0.003323	0.002053	0.003627	0.006147
<i>Prunus brasiliensis</i>	0.001300	0.006480	0.004500	0.004580	0.006500
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0.001700	0.023600	0.004600	0.008200	0.005800
<i>Sapium glandulatum</i>	0.003673	0.013650	0.008500	0.011367	0.008007
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0.003620	0.015800	0.005090	0.007500	0.009410
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0.001500	0.034000	0.009700	0.012300	0.007500
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0.001400	0.022600	0.008850	0.009700	0.005860
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0.005000	0.032800	0.008500	0.009300	0.005600
<i>Styrax leprosus</i>	0.001543	0.029100	0.006663	0.011685	0.012025
<i>Symplocos celastrina</i>	0.001030	0.025600	0.005200	0.010520	0.008450
<i>Symplocos uniflora</i>	0.001490	0.013420	0.005867	0.009000	0.006200
<i>Vernonia discolor</i>	0.001400	0.006450	0.001300	0.005900	0.005700
<i>Xylosma sp.</i>	0.002240	0.025900	0.007400	0.018700	0.007200

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 6 – CONTEÚDO DE MAGNÉSIO POR ESPÉCIE AMOSTRADA NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA (em Kg)

Espécie	Magnésio				
	madeira	casca	galhos	folhas	misc.
<i>Allophyllus edulis</i>	0.001367	0.001223	0.001577	0.005570	0.001883
<i>Araucaria angustifolia</i>	0.000533	0.001397	0.001743	0.003763	0.000840
<i>Calypttranthes concinna</i>	0.000100	0.001340	0.000810	0.002655	0.001870
<i>Campomanesia xanthocarpa</i>	0.001435	0.001400	0.001435	0.001930	0.001800
<i>Casearia decandra</i>	0.003053	0.002457	0.002237	0.003990	0.002910
<i>Clethra scabra</i>	0.002360	0.001110	0.001040	0.004150	0.003450
<i>Cupania vernalis</i>	0.001127	0.002137	0.000993	0.005200	0.002365
<i>Dicksonia sellowiana</i>	0.002123			0.003830	0.002380
<i>Drimys brasiliensis</i>	0.002890	0.001100	0.001620	0.003250	0.001600
<i>Ilex dumosa</i>	0.001410	0.003260	0.002083	0.006830	0.002930
<i>Ilex microdonta</i>	0.001097	0.001800	0.001467	0.005073	0.001227
<i>Ilex paraguariensis</i>	0.001207	0.002830	0.001563	0.004930	0.003165
<i>Ilex theezans</i>	0.001960	0.004100	0.002570	0.008000	0.001830
<i>Jacaranda puberula</i>	0.000615	0.000745	0.001550	0.003325	0.001270
<i>Lamanonia ternata</i>	0.002000	0.002400	0.002780	0.003670	0.001200
<i>Lithraea brasiliensis</i>	0.000400	0.003567	0.000997	0.001790	0.001863
<i>Matayba elaeagnoides</i>	0.001300	0.003900	0.001200	0.005670	0.001900
<i>Mimosa scabrella</i>	0.000430	0.001363	0.000857		0.001885
<i>Myrcia sp.</i>	0.000817	0.000840	0.000445	0.001510	0.001227
<i>Myrsine ferruginea</i>	0.000225	0.000667	0.000550	0.001403	0.001145
<i>Myrsine umbellata</i>	0.000333	0.001100	0.000787	0.002600	0.002450
<i>Nectandra megapotamica</i>	0.000193	0.000235	0.000655	0.001613	0.001180
<i>Ocotea porosa</i>	0.000097	0.000400	0.000743	0.001407	0.001393
<i>Ocotea puberula</i>	0.005447	0.000797	0.000674	0.001880	0.001823
<i>Ocotea pulchella</i>	0.000590	0.001090	0.000870	0.002390	0.001175
<i>Persea major</i>	0.000290	0.000210	0.001300	0.002300	0.000910
<i>Piptocarpha angustifolia</i>	0.000263	0.001090	0.000960	0.002597	0.001627
<i>Prunus brasiliensis</i>	0.000250	0.001150	0.000970	0.003780	0.002500
<i>Quillaja brasiliensis</i>	0.000300	0.000620	0.000850	0.001930	0.002140
<i>Sapium glandulatum</i>	0.000410	0.002740	0.001893	0.004117	0.001030
<i>Schinus terebinthifolius</i>	0.000570	0.003000	0.001030	0.001810	0.002290
<i>Sebastiania brasiliensis</i>	0.000800	0.002200	0.001400	0.003970	0.001900
<i>Sebastiania commersoniana</i>	0.001060	0.000820	0.001580	0.004400	0.001520
<i>Sloanea lasiocoma</i>	0.000880	0.001450	0.000820	0.002520	0.001410
<i>Styrax leprosus</i>	0.000640	0.000990	0.001297	0.001740	0.001305
<i>Symplocos celastrina</i>	0.000230	0.000800	0.000700	0.002100	0.001980
<i>Symplocos uniflora</i>	0.000383	0.001045	0.000790	0.004100	0.001413
<i>Vernonia discolor</i>	0.000220	0.000600	0.000600	0.001860	0.001120
<i>Xylosma sp.</i>	0.000410	0.000680	0.000820	0.002900	0.001570

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 7 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES (Kg.parcela⁻¹) AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
1	3.501245	0.882352	0.307046	5.492276	4.544561	0.626585
2	54.187277	8.269239	4.179410	39.096864	41.027364	8.497554
3	15.003947	2.238875	0.950216	15.472918	10.689717	1.235248
4	1.533182	0.231769	0.103822	2.103560	2.882559	0.398461
5	39.499961	9.928802	2.028195	38.938955	26.813268	2.817396
6	3.079317	0.713887	0.502511	0.502511	6.134774	0.546215
7	10.205319	2.453170	0.549450	12.827754	11.945201	1.558734
8	27.751265	4.677520	1.654625	33.136536	31.834682	5.182490
9	5.566834	1.293154	0.430562	7.948555	6.853499	1.390646
10	9.606217	2.436828	0.758369	14.880238	23.372711	2.583711
11	32.744358	6.958218	1.795430	32.608759	27.024385	3.814567
12	49.007825	9.379910	3.662898	44.884572	37.303587	5.371581
13	25.380601	5.109823	1.311295	22.937929	16.656448	2.162442
14	4.579732	1.163102	0.504678	7.539097	5.115043	1.383836
15	19.662679	2.909278	1.900906	23.457949	25.710518	4.804655
16	20.051600	3.702513	1.216203	19.860318	15.751407	2.637967
17	40.898656	9.975716	2.061820	55.553341	65.565635	9.389953
18	16.395987	1.533336	0.410625	12.768093	10.227210	1.351238
19	8.505073	2.029087	0.623843	21.966793	23.581422	11.343570
20	3.718505	0.639162	0.174872	4.979410	1.071355	0.568850

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 8 – CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES (Kg.pixel⁻¹) AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
1	0.389027	0.098039	0.034116	0.610253	0.504951	0.069621
2	6.020809	0.918804	0.464379	4.344096	4.558596	0.944173
3	1.667105	0.248764	0.10558	1.719213	1.187746	0.13725
4	0.170354	0.025752	0.011536	0.233729	0.320284	0.044273
5	4.388885	1.1032	0.225355	4.326551	2.979252	0.313044
6	0.342146	0.079321	0.055835	0.055835	0.681642	0.060691
7	1.133924	0.272574	0.06105	1.425306	1.327245	0.173193
8	3.083474	0.519724	0.183847	3.681837	3.537187	0.575832
9	0.618537	0.143684	0.04784	0.883173	0.7615	0.154516
10	1.067357	0.270759	0.084263	1.65336	2.596968	0.287079
11	3.638262	0.773135	0.199492	3.623195	3.002709	0.423841
12	5.445314	1.042212	0.406989	4.987175	4.144843	0.596842
13	2.820067	0.567758	0.145699	2.548659	1.850716	0.240271
14	0.508859	0.129234	0.056075	0.837677	0.568338	0.15376
15	2.184742	0.323253	0.211212	2.606439	2.856724	0.533851
16	2.227956	0.41139	0.135134	2.206702	1.750156	0.293107
17	4.544295	1.108413	0.229091	6.172593	7.285071	1.043328
18	1.821776	0.170371	0.045625	1.418677	1.136357	0.150138
19	0.945008	0.225454	0.069316	2.440755	2.620158	1.260397
20	0.413167	0.071018	0.01943	0.553268	0.119039	0.063206

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 9 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTE NAS FOLHAS
(Kg.parcela⁻¹) AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
1	0,444402	0,0554	0,033518	0,314472	0,267763	0,071223
2	0,932723	0,097199	0,06014	0,228476	0,373619	0,144318
3	0,789936	0,070082	0,035757	0,317851	0,2123	0,066468
4	0,189889	0,020358	0,010201	0,097117	0,135438	0,05172
5	1,699717	0,155711	0,083294	0,757156	0,472098	0,102917
6	0,30182	0,038674	0,019161	0,019161	0,190081	0,052211
7	1,416487	0,138267	0,109727	0,813542	1,01473	0,267339
8	2,930115	0,282481	0,258866	1,812969	2,559247	0,683063
9	1,421788	0,134541	0,127442	0,898171	1,155671	0,313561
10	2,248328	0,211124	0,21505	1,482021	3,341879	0,557535
11	2,53956	0,231626	0,161463	1,327475	1,366776	0,366453
12	3,183739	0,335912	0,184732	1,295876	1,114849	0,357198
13	1,693046	0,15259	0,078936	0,749436	0,516866	0,130631
14	0,850222	0,067489	0,041742	0,376342	0,227721	0,065177
15	1,220698	0,167407	0,121052	0,732524	0,669711	0,312629
16	1,313109	0,104593	0,064074	0,518997	0,410835	0,120772
17	2,037399	0,188795	0,164193	1,183384	1,489406	0,389171
18	1,514104	0,089706	0,087423	0,483042	0,465489	0,102358
19	1,576686	0,142196	0,137531	1,511637	1,176994	0,359524
20	0,434798	0,033979	0,018264	0,157098	0,074594	0,037361

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 10 - CONTEÚDO MÉDIO DE MACRONUTRIENTES PRESENTE NAS FOLHAS
(Kg.pixel⁻¹) AMOSTRADOS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA

Parcela	Nitrogênio	Enxofre	Fósforo	Potássio	Cálcio	Magnésio
1	0,049378	0,006154	0,003724	0,034941	0,029751	0,007914
2	0,103636	0,010800	0,006682	0,025386	0,041513	0,016035
3	0,087771	0,007787	0,003973	0,035317	0,023584	0,007385
4	0,021099	0,002262	0,001133	0,010791	0,015049	0,005747
5	0,188857	0,017301	0,009255	0,084128	0,052455	0,011435
6	0,033536	0,004297	0,002129	0,002129	0,021120	0,005801
7	0,157387	0,015363	0,012192	0,090394	0,112748	0,029704
8	0,325568	0,031387	0,028763	0,201441	0,284361	0,075896
9	0,157976	0,014949	0,014160	0,099797	0,128408	0,034840
10	0,249814	0,023458	0,023894	0,164669	0,371320	0,061948
11	0,282173	0,025736	0,017940	0,147497	0,151864	0,040717
12	0,353749	0,037324	0,020526	0,143986	0,123872	0,039689
13	0,188116	0,016954	0,008771	0,083271	0,057430	0,014515
14	0,094469	0,007499	0,004638	0,041816	0,025302	0,007242
15	0,135633	0,018601	0,013450	0,081392	0,074412	0,034737
16	0,145901	0,011621	0,007119	0,057666	0,045648	0,013419
17	0,226378	0,020977	0,018244	0,131487	0,165490	0,043241
18	0,168234	0,009967	0,009714	0,053671	0,051721	0,011373
19	0,175187	0,015800	0,015281	0,167960	0,130777	0,039947
20	0,048311	0,003775	0,002029	0,017455	0,008288	0,004151

Fonte: CALDEIRA (2003)

ANEXO 11 - RELAÇÃO DAS ESPÉCIES AMOSTRADAS NA FLORESTA OMBRÓFILA MISTA MONTANA.

FAMÍLIA	NOME CIENTIFICO	NOME VULGAR
Araucariaceae	<i>Araucaria angustifolia</i> (Bertol.) Kuntze	Pinheiro-do-Paraná
Aquifoliaceae	<i>Ilex dumosa</i> Reissek	Caúna-miúda
	<i>Ilex microdonta</i> Reissek	Congonha
	<i>Ilex paraguariensis</i> St.- Hil.	Erva-mate
	<i>Ilex Theezans</i> Mart.	Caúna-gráuda
Asteraceae	<i>Vernonia discolor</i> (Spreng.) Less.	Vassourão-preto
	<i>Piptocarpha angustifolia</i> Dusén	Vassourão-branco
Anacardiaceae	<i>Lithraea brasiliensis</i> Marchand	Bugreiro
	<i>Schinus terebinthifolius</i> Raddi	Aroeira
Bignoniaceae	<i>Jacaranda puberula</i> Cham.	Caroba
Cunoniaceae	<i>Lamanonia ternata</i> Vell.	Guaperê
Clethraceae	<i>Clethra scabra</i> Pers.	Carne-de-vaca
Cyatheaceae	<i>Dicksonia sellowiana</i> Hook.	Xaxim
Elaeocarpaceae	<i>Sloanea lasiocoma</i> K. Schum.	Sapopema
Falcourtiaceae	<i>Casearia decandra</i> Jacq.	Café-do-mato
	<i>Xylosma</i> sp.	Sucará
Euphorbiaceae	<i>Sapium glandulatum</i> (vell.) Pax.	Leiteiro
	<i>Sebastiania commersorniana</i> (Baill.) L.B.Sm. & Downs	Branquilho
	<i>Sebastiania brasiliensis</i> Spreng.	Branquilho-miúdo
Lauraceae	<i>Nectandra megapotamica</i> (Spreng.) Mez	Canela-imbuia
	<i>Ocotea porosa</i> (Ness & Mart. Ex Ness) L. Barroso	Imbuia
	<i>Ocotea puberula</i> (A. Rich.) Ness	Canela-guaicá
	<i>Ocotea pulchella</i> Mart.	Canela-lageana
	<i>Persea major</i> (Ness) Kopp.	Pau-de-andrade
Myrtaceae	<i>Calyptanthes concinna</i> DC.	Guamirim-ferro
	<i>Campomanesia xanthocarpa</i> O. Berg.	Gaubiroba
	<i>Myrcia</i> sp.	Guamirim
Mimosaceae	<i>Mimosa scabrella</i> Benth.	Bracatinga
Myrsinaceae	<i>Myrsine ferruginea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	Capororoquina
	<i>Myrsine umbellata</i> Mart.	Capororoca
Rosaceae	<i>Prunus brasiliensis</i> (Cham. & Schlechtr.) D. Dietr.	Pessegueiro-bravo
Myrtaceae	<i>Calyptanthes concinna</i> DC.	Guamirim-ferro
	<i>Quillaja brasiliensis</i> (A. St.-Hil. Et Tul.) Mart.	Pau-sabão
Sapindaceae	<i>Allophylus edulis</i> (A. St.-Hil. et al.) Radlk.	Chal-chal
	<i>Cupania vernallis</i> Cambess.	Miguel-pintado-gráudo
	<i>Matayba elaeagnoides</i> Radlk.	Miguel-pintado-miúdo
Styraceae	<i>Styrax leprosus</i> Hook. & Arn.	Maria-mole-gráuda
Symplocaceae	<i>Symplocos celastrina</i> Mart. ex Miq.	Maria-mole-branca
	<i>Symplocos uniflora</i> (Pohl) Bent.	Sete-sangia
Winteraceae	<i>Drimys brasiliensis</i> Miers.	Cataia

Fonte: WATZLAWICK (2003)