DENSITOMETRIA DE TRANSPARÊNCIAS INFRAVERMELHAS
COLORIDAS (FALSA-COR) NO INVENTÁRIO DE FLORESTAS
DE EUCALIPTOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

MARIA HELOISA BORGES
Engenheiro Florestal

Orientador: PROF. DR. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

Dissertação apresentada à Escola
Superior de Agricultura "Luiz de
Queiroz", da Universidade de São
Paulo, para obtenção do título
de Mestre em Agronomia, Área de
Concentração: Solos e Nutrição
de Plantas.

P I R A C I C A B A
Estado de São Paulo - Brasil
Janeiro - 1991

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

Borges, Maria Heloisa

B732d   Densitometria de transparências infravermelhas coloridas (Falsa-Cor) no inventário de florestas de eucaliptos no Estado de São Paulo. Piracicaba, 1991.
101p.

Diss.(Mestre) - ESALQ
Bibliografia.

1. Eucalipto - Fotointerpretação 2. Floresta - Inventário 3. Fotografia aérea - Interpretação 4. Sensoriamento remoto em floresta I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 634.9734

DENSITOMETRIA DE TRANSPARENCIAS INFRAVERMELHAS
COLORIDAS (FALSA-COR) NO INVENTÁRIO DE FLORESTAS
DE EUCALIPTOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

MARIA HELOISA BORGES

Aprovada em: 27.03.1992

Comissão Julgadora:

Prof. Dr. Hilton Thadeu Zarate do Couto	ESALQ/USP
Prof. Dr. Geraldo Victorino de França	ESALQ/USP
Prof. Dr. Carlos Alberto Vettorazzi	ESALQ/USP

Prof. Dr. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA
Orientador

A memória de meus pais,

HOMENAGEM

AGRADECIMENTOS

Às Instituições ESALQ/USP e FCT/UNESP por tornarem viável a realização deste trabalho.

Ao Prof. Dr. Geraldo Victorino de França, pela orientação e dedicação.

À Champion Papel e Celulose S.A. nas pessoas dos Engenheiros Florestais Sérgio Diniz e Benedito Vastano Júnior, que gentilmente nos forneceram os dados, sem os quais o trabalho se tornaria inviável.

À Rosana Cristina Pereira Parente e à Estatística Vilma M. Tachibana pela orientação e colaboração na análise estatística.

A Bibliotecária Chefe da FCT/UNESP, Elília Ap. Sauro, pela disposição em conseguir o material bibliográfico.

Aos demais colegas da FCT/UNESP e a todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para que este trabalho se tornasse realidade.

SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	ix
RESUMO	x
SUMMARY	xii
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	3
2.1. Sensoriamento Remoto	3
2.2. Densitometria	13
2.3. Densidade Óptica	21
2.4. Reflectância	26
3. MATERIAL E MÉTODOS	40
3.1. Caracterização da Área de Estudo	40
3.2. Espécies Estudadas	43
3.3. Cálculo do Volume de Madeira	44
3.4. Fotografias Aéreas	46
3.5. Densitômetro	47
3.6. Análise Densitométrica	49
3.7. Análise Estatística	50
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	52
4.1. <i>Eucalyptus grandis</i>	54
4.2. <i>Eucalyptus saligna</i>	55
4.3. <i>Eucalyptus urophylla</i>	57
5. CONCLUSÕES	92
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	94

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Representação esquemática das camadas de um filme colorido. Fonte: NOVO (1989).	24
2	Curvas de transmitância versus comprimento de onda para os filtros 92, 93 e 94. Fonte: SCARPACE (1978).	25
3	Mapa de localização da área de estudo.	40
4	Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo - Quadricula de Araras - Horto Santa Terezinha - Champion Papel e Celulose S.A. FONTE: OLIVEIRA <i>et alii</i> (1981).	42
5	Distribuição dos talhões de <i>Eucalyptus grandis</i> , <i>Eucalyptus saligna</i> , <i>Eucalyptus urophylla</i> . FONTE: CHAMPION PAPEL E CELULOSE S.A.	45
6	Densitômetro de Transmissão TD 504. FONTE: MACBETH COLOR & PHOTOMETRY DIVISION (1973).	48
7	Características dos filtros TD 504. FONTE: MACBETH COLOR & PHOTOMETRY DIVISION (1973).	48
8	Representação esquemática de um densitômetro de transmissão, tipo puntual. FONTE: GARCIA (1982).	49
9	Desempenho do volume/nº leituras para filtro azul em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i>	66
10	Desempenho do volume/nº leituras para filtro verde em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i>	67

Figura		Página
11	Desempenho do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i>	68
12	Desempenho do volume/nº leituras para filtro visual em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i>	69
13	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro azul em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i> . ..	70
14	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro verde em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i> . ..	71
15	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 1, em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i>	72
16	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 2, em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i>	73
17	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro visual em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus grandis</i> . ..	74
18	Desempenho do volume/nº leituras para filtro azul em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i>	75
19	Desempenho do volume/nº leituras para filtro verde em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i>	76

Figura		Página
20	Desempenho do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i>	77
21	Desempenho do volume/nº leituras para filtro visual em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i>	78
22	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro azul em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i> . ..	79
23	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro verde em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i> . ..	80
24	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 1, em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i>	81
25	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 2, em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i>	82
26	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro visual em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus saligna</i> . ..	83
27	Desempenho do volume/nº leituras para filtro azul em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i>	84
28	Desempenho do volume/nº leituras para filtro verde em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i>	85

Figura		Página
29	Desempenho do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i>	86
30	Desempenho do volume/nº leituras para filtro visual em relação a densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i>	87
31	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro azul em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i> ..	88
32	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro verde em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i> ..	89
33	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i>	90
34	Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro visual em relação ao inverso da densidade óptica para <i>Eucalyptus urophylla</i> ..	92

LISTA DE TABELAS

Tabela		Página
1	Características de alguns filmes Kodak para fotografias aéreas.	47
2	Densitometria dos talhões para <i>Eucalyptus grandis</i>	60
3	Densitometria dos talhões para <i>Eucalyptus saligna</i>	61
4	Densitometria dos talhões para <i>Eucalyptus urophylla</i>	62
5	Inverso da densitometria para talhões de <i>Eucalyptus grandis</i>	62
6	Inverso da densitometria para filtro vermelho agrupado em 2 conjuntos, para <i>Eucalyptus grandis</i>	63
7	Inverso da densidade para talhões de <i>Eucalyptus saligna</i>	64
8	Inverso da densitometria para filtro vermelho, agrupado em 2 conjuntos, para <i>Eucalyptus saligna</i>	65
9	Inverso da densitometria para talhões de <i>Eucalyptus urophylla</i>	65

DENSITOMETRIA DE TRANSPARÊNCIAS INFRAVERMELHAS
COLORIDAS (FALSA-COR) NO INVENTÁRIO DE FLORESTAS
DE EUCALIPTOS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Autora: MARIA HELOISA BORGES

Orientador: PROF. DR. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de fotografias aéreas, na forma de transparências infravermelhas coloridas (falsa-cor), no manejo de povoamentos florestais, principalmente no que se refere à avaliação do volume de corte, em povoamentos novos e de um ou mais cortes, realçando a utilização da densitometria.

Para tanto trabalhou-se com 3 espécies de eucaliptos: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*.

A área de estudo localiza-se no município de Mogi-Guaçu - SP, mais precisamente no Horto Santa Terezinha, de propriedade da Champion Papel e Celulose S.A..

O método utilizado foi a densitometria de transparências infravermelhas coloridas, através de densitômetro de transmissão Macbeth TD 504, equipado com filtros Wrattens 92 (vermelho), 93 (verde), 94 (azul) e 106 (visual); e a abertura utilizada foi a de 1mm.

De posse dos valores de volume cilíndrico em m^3 e da densidade óptica fez-se análise estatística, que constituiu na obtenção de equações de regressão para cada filtro e espécie.

Os resultados foram considerados satisfatórios, conseguindo-se valores de R^2 superiores a 0,70.

Com base nos resultados foi possível chegar às seguintes conclusões: a) a análise espectral realizada através da densitometria, utilizando transparências infravermelhas coloridas evidenciou a sua utilidade para a estimativa volumétrica em reflorestamento com eucaliptos pelo método semi-automático; b) o grau de detalhamento das fotografias aéreas infravermelhas coloridas as tornam adequadas a este tipo de trabalho, ou seja, a utilização da densitometria constitui uma alternativa válida para a realização do inventário florestal; e c) tanto para *Eucalyptus grandis* quanto para *Eucalyptus saligna*, as equações obtidas para os 4 filtros poderão ser de grande utilidade, pois as mesmas foram obtidas através de densidades ópticas de talhões com diferentes graus de homogeneidade.

COLOUR INFRARED TRANSPARENCIES DENSITOMETRY
(FALSE-COLOUR) IN THE INVENTORY OF EUCALYPTUS
FORESTS IN SÃO PAULO STATE

Author: MARIA HELOISA BORGES

Adviser: PROF. DR. GERALDO VICTORINO DE FRANÇA

SUMMARY

The objective of this work was to evaluate the utilization of aerial photographs in the form of colour infrared transparencies (false-colour) in the handling of homogeneous forest populating, principally regarding the evaluation of cutting volume, in the populations with one or more cuttings, emphasizing the utilization of densitometry.

For this purpose three Eucalyptus species were employed: *Eucalyptus grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*. This study area of research is located in the Municipality of Mogi-Guaçu - SP, more precisely in the Horto Santa Teresinha, which belongs to Champion Papel e Celulose S.A.

The employed method was the colour infrared transparencies densitometry by means of the transmitting densitometer Macbeth TD 504, equipped with filters Wrattens 92 (red), 93 (green), 94 (blue) and 106 (visual), and the opening employed was 1 millimeter.

With the utilization of this figures from cilindric volume in cubic meters and optic density the statistic analysis were performed, which the achievement of the regression equation for each filter and specie.

The results were considered satisfactory as R^2 values superior to 0.70 were obtained.

Based on the results it was possible to achieve the following conclusions: a) the spectral analysis carried out through the densitometry employing colour infrared transparencies made clear its usefullness to the volumetric estimative for reforestments with eucalyptus by the semi-automatic method; b) the degree of detailment of the colour infrared aerial photographs makes them adequate for this kind of work, that is, the utilization of the densitometry constitutes an effective alternative for the performing of a forest inventory, and c) as much for the *E. grandis* as for the *E. saligna* the obtained equations for the 4 filters may be of large utility, because they were obtained through out the optical densities of plots with diferent degrees of homogeneity.

1. INTRODUÇÃO

As áreas destinadas ao reflorestamento têm crescido contínua e vigorosamente nos últimos anos. Até o final da década de 70 este crescimento se deveu, principalmente, aos incentivos fiscais oferecidos pelo governo e, de lá para cá, exclusivamente em função das indústrias de transformação ligadas ao reflorestamento, que têm funcionado como polo de atração, fomentando o plantio de essências de interesse, dentro de um raio considerado econômico.

Durante os últimos anos, em função da crise de energia, a madeira voltou ao centro das atenções como alternativa econômica, não só para ser queimada como lenha ou carvão, mas também na produção de metanol.

Por estas razões o reflorestamento entrou numa nova e ativa fase, qual seja, a produção de madeira como fonte alternativa de energia.

Esta atividade exige não só a disponibilidade de terras relativamente baratas, normalmente de baixa fertilidade, como também, após o plantio, o manejo adequado do povoamento florestal até o corte, 6 a 7 anos depois.

Pela extensão das áreas já reflorestadas e prevendo-se uma expansão do plantio, deverão ser adotadas

técnicas de manejo e inventário compatíveis com as extensas áreas a serem analisadas.

Uma alternativa de grande potencial refere-se às fotografias aéreas em escalas adequadas, já que representam um registro exato da superfície do terreno, no momento da exposição.

A fotografia aérea apresenta-se como o único instrumento capaz de representar as formas e o arranjo espacial das plantas, individualmente ou em associações.

Conforme relata SPURR (1960), a fotointerpretação da vegetação começou quando se tornou necessário o levantamento de áreas de difícil acesso, onde o método de reconhecimento baseia-se em parte no estudo da tonalidade e textura fotográficas, padrão de sombra, forma e dimensão.

A tecnologia do sensoriamento remoto, seja por meio de fotografias aéreas ou imagens de satélite, pode contribuir significativamente para melhorar a qualidade das informações, principalmente quanto ao dimensionamento das áreas efetivamente ocupadas pelos reflorestamentos e a determinação da sua distribuição geográfica.

O objetivo deste trabalho foi avaliar a utilização de técnicas densitométricas em fotografias aéreas, na forma de transparências infravermelhas coloridas, no inventário e manejo de povoamentos florestais homogêneos.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Sensoriamento Remoto

Segundo NOVO (1989), "sensoriamento remoto" é a utilização de sistemas sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles. "Sensores remotos" são os equipamentos capazes de captar a energia proveniente dos objetos, gravá-la diretamente ou transformá-la em sinal passível de ser registrado e apresentá-lo em forma adequada à extração de informações. Portanto, a transferência de dados do objeto para o sensor é feito por meio de energia.

Alguns autores incluem como parte integrante do sensoriamento remoto os sensores que operam com energia acústica (sonar), gravitacional (gravímetro) ou eletromagnética (radiômetro). A maioria dos autores, porém, restringe o termo sensoriamento remoto à utilização de equipamentos que operam mediante a detecção da energia eletromagnética.

De acordo com a fonte de energia, COLWELL (1966) classifica os sensores remotos em passivos e ativos. Os "sensores passivos" dependem de uma fonte de energia externa, como a radiação solar, para que possam operar, como é

o caso dos sistemas fotográficos e do sistema Landsat. Os "sensores ativos" são aqueles que possuem sua própria fonte de energia, como é o caso do sistema radar, que emite micro-ondas e capta o retorno, após serem refletidas pelos alvos.

CARROLL (1973) divide os sensores remotos em fotográficos e não-fotográficos. Os sensores fotográficos são também denominados "diretos", pois gravam a energia refletida pelos alvos terrestres diretamente em emulsões ou filmes, através de lentes. Os sensores não-fotográficos são denominados "indiretos", porque convertem a energia detectada pelos sensores em impulsos elétricos, os quais são transformados, via tubo de raios catódicos em luz visível, que pode ser gravada em filme.

As câmaras fotográficas podem ainda ser classificadas como sensores imageadores, pois os níveis relativos de radiação de várias superfícies imageadas são gravadas em papel fotográfico, na região espectral selecionada. Estes sistemas são apropriados para interpretação visual e, frequentemente, proporcionam boa resolução.

Costa (1979) (citado por DONZELI, 1984), coloca as fotografias aéreas como produto de sensoriamento remoto mais comum e útil, sendo que, quando comparadas a outros sensores, têm como importantes atributos a seu favor a resolução espacial e a fácil identificação de aspectos da paisagem.

ANSON (1968) comparou fotografias aéreas pan-cromáticas, coloridas normais e infravermelhas coloridas

para fins de identificação de tipos de uso da terra, destacando que as fotografias aéreas infravermelhas apresentam as seguintes vantagens: a) possibilitam um entendimento mais claro e rápido dos padrões de uso da terra; b) permitem maior diferenciação entre os diferentes tipos de uso da terra; c) a riqueza de detalhes que registram é excelente para o delineamento dos limites entre os diferentes tipos de vegetação natural e de culturas.

GARCIA (1975) fez um estudo comparativo entre fotografias aéreas pancromáticas, coloridas e infravermelhas coloridas, concluindo que: a) no estudo da vegetação natural, os três tipos de fotografias revelaram a mesma eficiência; b) no estudo das culturas, as fotografias coloridas e as infravermelhas coloridas forneceram resultados semelhantes, porém melhores que os das fotografias pancromáticas; c) quanto ao total de itens identificados corretamente, a fotografia infravermelha colorida foi superior à fotografia colorida e esta, superior à fotografia pancromática.

Para STEPHENS (1976) a vantagem da fotografia infravermelha colorida está no fato de ser mais precisa e rápida na identificação de culturas graças à maior gama de matizes, valores e cromas que apresenta quando comparada com a fotografia colorida normal. Uma característica importante da fotografia infravermelha é a detecção da presença de vegetação morta que aparece em cores verde-azuladas ou azul, em contraste com os tons de vermelho ou magenta característicos de vegetação sadia.

KOFFLER (1982), estudando a identificação da cultura da cana-de-açúcar através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados MSS/Landsat, relatou que: a) a cana-de-açúcar possui características espectrais próprias, que permitem a sua identificação diferenciada de outros tipos de uso da terra, tanto em fotografias aéreas infravermelhas coloridas, como nos dois tipos de dados Landsat, transparências e fitas CCT; b) os três produtos analisados apresentam características que os tornam, cada um deles, mais vantajoso sob determinados aspectos - (1) o maior grau de detalhamento das fotografias aéreas infravermelhas coloridas as fazem mais adequadas para a interpretação visual; (2) a simplicidade de manuseio das transparências Landsat possibilita a sua análise quantitativa por meio de densitometria.

MARCHETTI & GARCIA (1978) relatam pesquisas feitas nos Estados Unidos, segundo os quais o olho humano é capaz de distinguir 200 tons de cinza em filmes preto-e-branco e mais de 2.000 combinações de cores em filmes coloridos.

Segundo HELLER (1978a), os desenvolvimentos nas técnicas de sensoriamento remoto desde 1971 incluem: novos filmes infravermelhos coloridos e coloridos normais para fotografias obtidas em grandes altitudes e em nível orbital; um novo filme infravermelho multiespectral com respostas mais uniformes em todos os comprimentos de onda; "scanners" multiespectrais de uma só abertura para faixas de comprimento de onda discretos variando do ultravioleta ao

infravermelho; "scanners" para mapear incêndios; radar de visada lateral; e análise óptica e técnicas de processamento assistido por computador. Ênfase particular é dada às aplicações em recursos naturais e florestais.

ZEL (1985) relata que o projeto de mapeamento florestal na África do Sul começou em outubro de 1981, com o objetivo de preparar um mapa florestal com a ajuda de dados Landsat, apresentando 4 classes distintas: a) florestas de essências nativas; b) plantações comerciais de Pinus; c) plantações de eucaliptos; e d) plantações de Acácia. O Landsat também tem sido usado num projeto para detectar e classificar espécies nativas invasoras nas plantações de Pinus na Nyalazi State Forest em Zululand e para cartografar a vegetação natural no Zimbabwe, Botswana, Malawi e África do Sul. É usado também para avaliar os danos causados à vegetação por incêndios na África do Sul.

Para HELLER (1978b), a avaliação dos danos na vegetação por sensoriamento remoto atingiu um nível razoavelmente sofisticado. Em seu artigo, relata as vantagens, os riscos, as aplicações práticas comuns e as possibilidades de uso futuro do sensoriamento remoto para este propósito. As vantagens incluem: (1) uso mais amplo do espectro eletromagnético; (2) a economia de tempo, de dinheiro e de trabalho humano; (3) a habilidade para cobrir grandes áreas; (4) o uso de levantamentos sucessivos de sensoriamento remoto para acompanhar tendências de danificação. Alguns riscos foram incluídos: (1) venda excessiva de técnicas de senso-

riamento remoto sem dados quantitativos mostrando estimativas em confiança; (2) uso de sistemas muito caros de sensoriamento remoto num fenômeno transitório; (3) a incapacidade de alguns usuários do Landsat em reconhecer que valores de reflectância incluem atenuação atmosférica e sinais ampliados; (4) o projeto incompleto de faixas de comprimento de onda Landsat para avaliação dos danos da vegetação (precisa-se de uma faixa de ondas amarela-alaranjada, 0,58 a 0,62 μm); (5) necessidade de melhores técnicas estatísticas para revisar a exatidão da classificação; e (6) uso de filmes coloridos ou infravermelhos coloridos para obter averiguação pré-visual dos danos em coníferas.

Ainda segundo HELLER (1978b), as aplicações práticas comuns de sensoriamento remoto para avaliação de danos na vegetação incluem: (1) técnicas de observação visual (esboço de mapeamento e registro de faixa); (2) fotografias coloridas e infravermelhas coloridas (em escalas grandes e pequenas) quando apropriadamente ajustadas com indícios de danos e condições atmosféricas; (3) amostras de multi-fase; e (4) sistemas de graduação de risco usando fotografias aéreas para definir fatores tais como: aspecto, declive, elevação que contribuem para a suscetibilidade da vegetação aos agentes danificadores. Futuras possibilidades do sensoriamento remoto prenunciadas são: (1) aumento da aferição de fotografias coloridas e infravermelhas coloridas e maior uso destas últimas em pequena escala; (2) utilização de balões, radares mais baratos e altímetros a laser junta-

mente com os melhores sistemas de posicionamento eletrônico para vôos repetitivos; (3) maior rapidez na aquisição de dados Landsat que serão geometricamente corrigidos e realçados; (4) aprimoramento de imagens Landsat classificadas automaticamente com exatidão; (5) melhor resolução disponível no Landsat 4 e 5 (Thematic Mapper) com faixas de comprimentos de onda mais estreitas, melhorando os procedimentos classificatórios e exatidões; e (6) melhorias em outros sensores como radar de visada lateral, CCD (detectores acoplados com carga) e imageadores de microondas.

HOLBEN *et alii* (1980) informaram que radiâncias espectrais vermelhas e infravermelhas tem sido correlacionadas com o índice de área foliar total de soja, índice de área foliar verde, índice da área foliar de clorofila, biomassa de folha verde, biomassa de folha clorótica e biomassa total. As correlações mais significantes foram encontradas entre os dados espectrais e índice de área foliar verde e/ou biomassa de folha verde. Estas descobertas demonstram que dados de sensoriamento remoto com base no solo podem fornecer informação básica para o crescimento de cobertura, desenvolvimento e estado da soja pela determinação não-destrutiva de área foliar verde ou biomassa de folha verde.

ARVANITES & NEWBURNE (1984) apresentam os resultados de um estudo prático destinado a determinar a possibilidade de uso do sensoriamento remoto fotográfico, para descrever *Melaleuca quinquenervia* no sul da Flórida.

Três tipos de filmes e várias escalas de fotos foram avaliadas em duas áreas testes de campo. Os resultados preliminares indicam que árvores individuais e grupos de árvores *Melaleuca* podem ser identificados nas transparências infravermelhas coloridas com suficientes detalhes para mapeamento subsequente.

THOMPSON & WEHMANEN (1979) descrevem uma técnica utilizando dados digitais Landsat transformados para detecção de seca agrícola, que foi definida empiricamente durante a seca de 1976 em Dakota do Sul. Durante 1977, o procedimento foi expandido para a Grande Planície para avaliação de uma técnica para detecção e monitoramento de estresse de água na vegetação sobre extensas áreas. A técnica, "Green Index Number", usa dados digitais Landsat em estrutura (segmento) de amostragem de 5 a 6 milhas náuticas, para indicar quando a vegetação, dentro de um segmento, é resistente à seca. Em estágios de crescimento conhecidos para trigo, segmentos foram classificados como áreas secas ou não-secas. A informação baseada em sensoriamento remoto foi comparada com um índice semanal de obtido no campo ("Crop Moisture Index" - índice de Umidade da Cultura) fornecido pelo Departamento de Comércio dos Estados Unidos. Esta comparação demonstrou um alto grau de concordância entre a técnica de sensoriamento remoto de 18 dias e o índice semanal de base-solo.

AASE *et alii* (1984) relacionaram medidas de radiância obtidas por um radiômetro manual (Exotech 100-A) e

por um sensor de varredura multiespectral (Daedalus DEI 1260) a bordo de uma aeronave, para diferentes padrões de densidade (simulação de morte por frio) do trigo de inverno (*Triticum aestivum* L.) e para produção de grãos. O campo de experiência estava localizado a 11 km à noroeste de Sidney - Montana (47° 45' N; 104° 16' W) num solo argiloso Williams (Argiborolls típico, argila fina, mesclado). Três classes 67-27 e 13 Kg/ha, do "Len", um cultivo semi-anão da variedade de trigo vermelho da primavera, foram semeadas para representar grupos de 100%, 40% e 20%. Radiâncias foram medidas com um radiômetro manual em manhãs claras por toda a estação de crescimento. Medidas foram feitas mediante sobrevoos de aeronave, em três estágios de crescimento: germinação, alongamento da haste e período de espigamento. Foi usada na análise a razão infravermelho próximo/vermelho. As medidas feitas, tanto via aeronave como no terreno, possibilitaram diferenciar e avaliar densidades de grupos de trigo num estágio precoce, suficiente para tomar decisões de manejo. As medidas obtidas por aeronave também confirmaram as medidas do radiômetro manual quando referentes ao prognóstico de produção. Embora havendo alguma dependência do crescimento, a razão infravermelho próximo/vermelho mostrou correlação com a produção quando medida desde o estágio de germinação até próximo a maturação-úmida. Os resultados reforçam o potencial do sensoriamento remoto para estimar produção de grãos e avaliar morte invernal.

THOMPSON & WEHMANEN (1980), relatam que como parte de um estudo complementar para detecção do estresse de umidade, conduzido no Experimento de Cultivo em Grandes Áreas (Large Area Crop Inventory Experiment - LACIE) uma técnica utilizando dados digitais Landsat transformados, foi avaliada para detecção do estresse de umidade numa região úmida de crescimento usando segmentos de amostra de Iowa, Illinois e Indiana. Em estágios de crescimento conhecidos, de milho e soja, segmentos foram classificados como suportando o estresse de umidade ou não suportando o estresse. Informação baseada em sensoriamento remoto foi comparada com um índice semanal medido no terreno (Crop Moisture Index). Esta comparação demonstrou que a técnica de sensoriamento remoto pode ser usada para monitorar as condições de crescimento, dentro de uma região onde o milho e a soja são as maiores culturas.

Segundo YOU-CHING (1980), a utilização de fotografia aérea em florestas começou na China em 1953. Um grande número de projetos de cobertura aerofotográfica e de mapeamento fotográfico na silvicultura foram completados, e isto promoveu inovação tecnológica em levantamentos florestais. Exemplos incluem um método de determinação visual modificado, fotointerpretação de tipos de floresta, amostra estratificada, amostra dupla, tripla, etc. Todos estes métodos utilizam fotografias aéreas. Atualmente, o inventário de florestas de toda a China foi completado por uma ou mais vezes, e os dados e mapas de inventário de florestas

tem sido completados por mais de duas mil comarcas. Acrescentando-se que um sistema contínuo de inventário de florestas foi estabelecido.

2.2. Densitometria

É sabido que as dificuldades na fotointerpretação aumentam à medida que diminui a escala fotográfica. Pode-se dizer que, pela segurança que oferece, a importância da densitometria aumenta à medida que diminui a escala fotográfica (GARCIA & MARCHETTI, 1977)

Os aparelhos que medem a densidade de reflexão são usados para medir a quantidade de luz que reflete da superfície de uma cópia fotográfica, enquanto que os densitômetros de transmissão medem a quantidade de luz que atravessa uma transparência (EASTMAN KODAK COMPANY, 1972).

SMITH (1970), que realizou estimativas de volume de madeira usando Plotter Kelsh e densitometria concluiu que perfis obtidos no Plotter Kelsh apenas, não forneceram estimativas satisfatórias enquanto que o uso de um densitômetro, para proporcionar uma variável adicional, ofereceu uma estimativa melhor do volume de apoio. Quando as duas variáveis foram combinadas numa equação de regressão, houve uma melhora significativa em relação às variáveis usadas isoladamente, para calcular o volume de madeira.

DOVERSPIKE *et alii* (1965) argumentam que a aquisição fundamental dos dados de uso da terra, através das

fotos aéreas coloridas, será facilitada se o processo for automatizado. Contudo, somente a densidade das cores não parece oferecer uma solução para diferenciar o uso da terra pelas fotos. Embora o tamanho da abertura afetasse as leituras de densidade, nenhuma melhora na discriminação do uso da terra podia ser atribuído à área de abertura. Além disso, a forma geométrica da abertura do microdensitômetro (circular, alongada ou quadrada) era de pequena importância ou insignificante. As diferenças de densidade na região azul do espectro eletromagnético ofereciam mais possibilidades na separação de 10 classes de uso da terra do que ofereciam as regiões do vermelho e verde.

SMITH (1971), realizou estudo sobre estimativa de volume de madeira utilizando transparências positivas de florestas de Pinus, no sul da Geórgia, e fazendo leituras com um microdensitômetro. Embora o estudo tenha mostrado altas variações entre varreduras em diferentes direções e em duas fotos diferentes, o autor sugere que o método seja adotado em novas experiências, por exemplo, com o uso de um microdensitômetro e algumas técnicas de correção para sombras em áreas abertas.

BROONER & SIMONETT (1971) explicam que em densitometria de fotografias aéreas infravermelhas coloridas, utilizando-se um filtro vermelho detecta-se a presença de luz vermelha ou ausência de corante ciano, sendo a quantidade deste inversamente proporcional à luz infravermelha próxima refletida pela área de interesse. Analogamente, o

filtro verde detecta apenas a luz verde modulada pelo corante magenta, e o filtro azul detecta somente a luz azul resultante da ausência do corante amarelo. Dessa forma, medidas da intensidade do corante em cada camada do filme fornecem uma estimativa da quantidade de radiação verde, vermelha e infravermelha refletida pela cultura. Embora as medidas foram de vermelho, verde e azul, estas cores resultam da exposição à luz infravermelha, vermelha e verde, respectivamente.

DRISCOL *et alii* (1974) utilizaram um microdensitômetro de varredura automática para medir as densidades ópticas de várias características do terreno em fotos panorâmicas nas montanhas do Colorado. As diferenças de densidade óptica foram suficientes para discriminar entre as espécies individuais de árvores e arbustos em fotos de grande escala (1: 1.100) de floresta de *Pinus edulis* e *Juniperus scopulorum*; e entre as comunidades de plantas incluindo floresta de madeira-de-lei, floresta de Spruce/Fir e floresta de arbustos em fotos de pequena escala (1: 139.000). Seletivamente, amostras de *Pinus ponderosa* derrubadas e não tratadas tiveram "raios de alcance" de densidade óptica bem semelhantes, mesmo que as diferenças fossem aparentes nas fotos.

JORDAN *et alii* (1978) realizaram um estudo, o qual indica que o densitômetro manual é um instrumento valioso para a classificação de cobertura de regiões que incluem áreas de superfície minerada. Os densitômetros ma-

nuais foram usados para discriminar tipos de cobertura do solo para 118 estratos a partir de fotografias aéreas multi-temporais na escala 1:24.000, infravermelhas coloridas e fotografias aéreas multiespectrais. Usando levantamentos de campo (verdade terrestre) classificou-se cada estrato em um dos 8 tipos de cobertura. A análise discriminante linear e a imagem multi-sazonal conduziram a um sistema de classificação razoavelmente exato. A distinção entre árvores coníferas e decíduas é boa sob condições pré-folheadas. Contudo, uma combinação de condições folheada e pré-folheada é superior a cada uma isoladamente. A floresta sem distúrbios e áreas de superfície minerada são adequadamente classificadas na imagem tirada durante condições folheadas.

GARCIA & MINTZER (1981) explicam que, enquanto a razão espectral original se baseia na relação entre duas bandas espectrais processadas à partir de fitas digitais compatíveis com computador, a técnica utilizada por eles foi a relação entre leituras densitométricas das bandas 5 e 7 do MMS/Landsat. Os dados obtidos dessa maneira foram comparados com estimativas de tonalidade obtidas por intermédio de escala graduada para tons de cinza. Tendo como elementos de comparação, o Cerradão, o Cerrado, o Campo Sujo, o Campo Limpo e a Mata, obtiveram as seguintes conclusões: (a) a técnica da razão espectral a partir de leituras densitométricas revelou-se satisfatória, consistindo numa alternativa prática e econômica; (b) a razão espectral efetuada com estimativas de tonalidade apresentou resultados que podem

ser considerados satisfatórios, dependendo da finalidade do estudo e da precisão requerida.

EVERITT *et alii* (1981a) utilizaram uma área no sul do Texas como um local de estudo para testar o uso da microdensitometria em fotografias infravermelhas 70 mm (escalas 1: 19.000 e 1: 42.000) e fotografias preto-e-branco (escala 1: 19.000) para diferenciar 11 tipos de terreno (2 locais de "terra de carvão", dominados respectivamente por *Prosopis glandulosa* e *Quercus virginiana*; 7 locais de gramíneas e 2 locais áridos). As fotografias foram tiradas em fevereiro, maio e agosto de 1976, e dados reais do solo foram coletados ao mesmo tempo. Leituras de densidade óptica foram feitas em filme infravermelho colorido com luzes branca, vermelha, verde e azul e em filmes preto-e-branco usando luz branca. As melhores separações foram obtidas com luz branca e filme infravermelho colorido, quando a vegetação estava no auge do desenvolvimento da folhagem.

Ainda EVERITT *et alii* (1981b) relatam que a microdensitometria com filme infravermelho colorido 70 mm foi testada para distinguir lugares salinos de não-salinos num terreno em Starr County, Texas. Foram tomadas fotografias aéreas em maio de 1976 (escala 1:19.000), em junho de 1976 (escalas 1:19.000 e 1:42.000) e em junho de 1979 (escala 1:80.000). Foram feitas leituras de densidade óptica com luzes branca, vermelha, verde e azul. Os terrenos salinos foram separados dos não-salinos pelo uso de luz branca ou azul, nas fotografias de junho de 1976, os terrenos salinos

foram separados dos não-salinos usando-se todas as quatro luzes em fotografias de escala 1:19.000 e pelo uso de luz branca, verde ou azul nas fotografias de escala 1:42.000. Os terrenos salinos foram, também, separados dos não-salinos com o uso de luz branca, verde ou azul na fotografias de escala 1:80.000, tiradas em junho de 1979. A capacidade de diferenciar terreno salino de não-salino foi devida à menor cobertura de plantas em terrenos salinos. Estes dados mostram que a fotointerpretação automatizada pode ser usada, com êxito, para identificar terrenos salinos em fotografias tiradas usando filme infravermelho colorido.

LEE & McKELVEY (1984) testaram uma nova abordagem, combinando microdensitometria e análise computacional de fotografias aéreas infravermelhas de pequeno formato, para averiguar mudanças em vegetação estuarina causada por cisnes trombeteiros. A técnica foi considerada útil porque seria difícil delinear mudanças pelo uso das técnicas convencionais de interpretação da fotografia aérea, o também porque os métodos de levantamento de campo são trabalhosos. Dois níveis de mudanças de vegetação, que correspondiam à alimentação "pesada" e "leve", dos cisnes, foram detectados. Estas mudanças podiam ser usadas para medir a taxa de consumo de alimento dos cisnes trombeteiros.

EVERITT *et alii* (1985) testaram a microdensitometria em fotografias infravermelhas coloridas (CIR) para escala pequena (1:120.000), para distinguir entre 10 locais de pastagem natural, 2 terrenos de mato, 6 terrenos de

pastagem e 2 terrenos áridos, no sul do Texas. Fotografias aéreas foram tiradas em maio de 1981, quando a vegetação estava no auge do desenvolvimento das folhas. As leituras de densidade óptica feitas sobre filme CIR com luz branca ou azul, foram melhores para distinguir as classes de ordem mais alta dos 3 tipos (terreno de mato, terreno de pastagem e terreno árido), mas as leituras feitas com luz vermelha distinguiram melhor os 10 locais de pastagem. Uma análise discriminante usando as 4 leituras de densidade óptica diferenciou os 10 locais com 100% de precisão. Estes resultados demonstraram que a fotointerpretação automatizada pode ser usada para identificar uma variedade de tipos de cobertura em fotografias infravermelhas coloridas de pequena escala.

EDWARDS & BLAZQUEZ (1985) explicam que taxas de valores densitométricos espectrais selecionados de imagens de árvores cítricas em transparências aéreas infravermelhas coloridas foram determinados por meio de três instrumentos: Dokumator DL-2-leitor de microfilme; um monocromator visível e um auto-fotômetro. Plotagens de densidade do filme para imagens de árvores cítricas tinham duas faixas de picos máximos, um dos 490 a 500 nm e outro dos 600 a 610 nm. As taxas de densidade do filme, nesses dois picos máximos, foram mais baixas para árvores sadias do que para árvores não sadias. Uma regressão linear da fotointerpretação versus os valores da taxa para imagens de 60 árvores deu um coeficiente de correlação de 0,85.

STRONG *et alii* (1985) investigaram a microdensitometria de fotos infravermelhas coloridas de escala grande como uma técnica para estimar a produção de fitomassa de 3 estepes de artemisia, *Artemisia tridentata*, os tipos de habitat num terreno em pousio. Relações inversas entre produção de fitomassa e reflectância variavam entre tipos de habitat. Reflectância no vermelho explicava 59 a 56% da variação em produção de fitomassa para dois tipos de habitat. Variáveis espectrais foram altamente correlacionadas, resultando em faixas de taxas que foram relativamente constantes, com pouca habilidade de previsibilidade. Uma relação de curva-linear inversa para dados de dois tipos de habitat explicava 76% da variância na produção de fitomassa com um erro padrão de 15% da média. Numa avaliação de modelos de regressão, a produção de fitomassa foi subestimada, devido à representação incompleta nos modelos, de grandes valores de reflectância do solo exposto. Regressões usando densidade integral e exposição tinham variações residuais semelhantes àsquelas obtidas usando reflectância como uma variável independente.

MACLEAN & MARTIN (1985) descrevem um processo para estimar volume de madeira a partir de medidas de alta precisão do perfil da cobertura em fotografias aéreas verticais de média escala. Dados do volume de madeira foram obtidos em 75 pontos de uma área de estudos em Wisconsin, contendo vários tipos de floresta, e áreas do perfil da cobertura foram medidas com um estereo-restituidor fotogra-

métrico nos pontos correspondentes nas fotografias aéreas. Os valores de densidade do filme foram também medidos ao longo de cada perfil usando um microdensitômetro de varredura. Constatou-se que a área do perfil da cobertura era independente da direção do perfil relativo à linha de vôo da fotografia. A relação entre volume de madeira e área do perfil foi altamente significativa, semilogarítmica, e variáveis dependentes, valores de R^2 (coeficiente de determinação) de 0,67-0,79. A área sob uma curva obtida por plotagem de valores de densidade do filme, não foi suficientemente correlacionada com o volume de madeira para ser uma variável independente significativa, sozinha ou combinada com a área do perfil. Contudo, a informação de densidade do filme foi de valor significativo na correção de áreas do perfil para micro-aberturas na cobertura, as quais foram pequenas para serem medidas com estero-restituído fotogramético. Com a área de micro-abertura incluída como uma variável independente, os valores de R^2 foram 0,82 - 0,88.

2.3. Densidade óptica

Segundo EASTMAN KODAK COMPANY (1972), a absorção de luz na imagem fotográfica é expressa em termos de densidade óptica. Para imageamento em preto-e-branco, a densidade óptica é usualmente definida como:

$$D = \log \frac{1}{T} = \log \frac{P_0}{P}$$

onde:

D = densidade óptica;

T = transmitância;

Po = fluxo de luz incidente;

P = fluxo de luz transmitida.

Valores de densidade óptica obtidos pelo densitômetro podem ser convertidos para reflectância através da seguinte relação:

$$R = \frac{1}{\text{antilog } D}$$

onde:

R = reflectância;

D = densidade óptica.

SCARPACE (1978) explica que imagens em filmes coloridos são mais complexas; assim, as definições de densidade devem ser cuidadosamente examinadas.

O fluxo de luz transmitida através de um pedaço de filme pode ser escrito assim:

$$P = P_o 10^{-D} \quad [1]$$

Geralmente, o fluxo de luz incidente e a densidade não são independentes do comprimento de onda; assim, a equação [1] é escrita mais corretamente da seguinte maneira:

$$P(\lambda) = P_o(\lambda) 10^{-D(\lambda)} \quad [2]$$

onde (λ) indica que o termo precedente depende do comprimento de onda, isto é, a equação [1] é independentemente válida

para cada comprimento de onda.

Como o filme colorido é composto pelas camadas ciano (C), magenta (M) e amarelo (A), além da camada base (B) onde estão assentadas estas outras (Figura 1), a equação do fluxo total transmitido pode ser expressa como segue:

$$P(\lambda) = P_0(\lambda) 10^{-(D_B(\lambda) + D_C(\lambda) + D_M(\lambda) + D_A(\lambda))} \quad [3]$$

Os termos exponenciais da equação [3] podem ser igualados para $D(\lambda)$, isto é,

$$D(\lambda) = D_B(\lambda) + D_C(\lambda) + D_M(\lambda) + D_A(\lambda) \quad [4]$$

Onde $D(\lambda)$ é a densidade integral da transparência. Os densitômetros medem uma densidade integral. Em um filme multi-camada as densidades das camadas individuais, bem como da base (D_B , D_C , D_M e D_A), são densidades analíticas.

Desde que a densidade é função do comprimento de onda, a equação [2] pode ser expressa da seguinte maneira:

$$D(\lambda_a) = \log \frac{P_0(\lambda_a)}{P(\lambda_a)} = \log \frac{1}{T(\lambda_a)} \quad [5]$$

onde λ_a é um comprimento de onda específico. A densidade expressa desse modo é denominada densidade integral, que é uma medida de densidade para um comprimento de onda específico.

Porém, quando as densidades são avaliadas através de um filtro, representado por determinada curva de transmitância espectral, estas são denominadas densidades de

faixas largas espectrais ("broad band densities").

CAMADA SENSÍVEL A RADIAÇÃO AZUL (IMAGEM POSITIVA AMARELA)
FILTRO AMARELO(RETENÇÃO DA RADIAÇÃO AZUL)
CAMADA SENSÍVEL A RADIAÇÃO VERDE (IMAGEM POSITIVA MAGENTA)
CAMADA SENSÍVEL A RADIAÇÃO VERMELHA (IMAGEM POSITIVA CYAN)
BASE DO FILME

Figura 1 - Representação esquemática das camadas de um filme colorido.

Fonte: NOVO (1989).

Devido à natureza da densidade de faixa longa espectral, a expressão matemática é diferente da equação [5]. A densidade de faixa longa espectral não é somente função do fluxo de luz incidente e transmitida, mas também é função da transmitância do filtro (Figura 2) e da sensibilidade do densitômetro. A equação [5] pode ser reescrita como:

$$D_f = \log \frac{\int P_o(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}{\int P(\lambda) \cdot F(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda} \quad [6]$$

onde,

D_f = densidade da faixa longa espectral medida através do filtro;

$F(\lambda)$ = função da transmitância do filtro no sistema;

$S(\lambda)$ = sensibilidade relativa do densitômetro ao fluxo de luz.

A integral se estende por toda a faixa de comprimento de onda no qual o densitômetro é sensível.

Figura 2 - Curvas de transmitância versus comprimento de onda para os filtros 92, 93 e 94.

Fonte: SCARPACE (1978).

Segundo MURTHA & KIPPEN (1970), num filme falsa-cor a camada formada de corante ciano é sensível à reflectância no infravermelho próximo. Visto que as coníferas fisiologicamente danificadas têm uma menor reflectância no infravermelho próximo do que têm as árvores mais saudáveis, medições de densidade óptica com filtro vermelho foram feitas em imagem falsa-cor do *Pinus resinosa* incluindo algu-

mas árvores contaminadas e outras nas proximidades que não estavam infectadas, para fornecer uma medida da densidade da camada de corante ciano. Em geral, a densidade diminui com o aumento de distância dos focos de infecção.

MURTHA & HAMILTON (1970) relataram a detecção de danos simulados em coníferas usando filmes infravermelho próximo. Resultados das fotos de coníferas jovens tiradas a uma altura de 12 pés indicaram que o filme falsa-cor registrou dano animal simulado, não registrado pelo filme colorido normal. A observação visual indicou que com o filme falsa-cor, as árvores danificadas apresentaram-se com uma cor magenta mais escura do que as árvores não danificadas; galhos de coníferas jovens estavam com uma cor laranja-magenta e a folhagem marrom estava verde-amarelada, e os galhos secos estavam azulados. A análise das medições dos valores de densidade óptica indicaram que a densidade da camada de corante ciano foi maior nas transparências do filme falsa-cor, em grandes danos. Nenhuma relação foi aparente entre o montante do dano e as densidades da camada de corante do filme colorido normal.

2.4. Reflectância

GAUSMAN *et alii* (1989a) relatam que plantas de algodão foram produzidas hidroponicamente com cloreto de sódio. As folhas amostradas eram do 3º e 4º nódulos abaixo dos ápices da planta de algodão, simulando como seriam vis-

tas de cima por um sensor remoto. Um espectrofotômetro foi usado para medir a reflectância e transmitância da luz incidindo na superfície superior das folhas, individualmente. A reflectância total hemisférica no âmbito espectral de 750-1300 $m\mu$ foi maior para folhas de plantas de algodão cultivadas em substratos salinos com baixa concentração. Este crescimento na reflectância e uma diminuição na absorvância foi consistente com a observada em folhas mais grossas de plantas em crescimento em substrato salino, as quais tinham maiores paredes palisadas e mesófilos esponjosos folgadoamente. Estas mudanças estruturais resultaram em espaços intercelulares maiores, portanto apoiando a premissa de que o espalhamento interno da luz é aumentado por interfaces das cavidades de ar das paredes celulares.

Ainda GAUSMAN *et alii* (1969b) relatam que folhas de plantas de algodão pulverizadas com 100 g/ha de Cycocel num campo experimental tiveram sua dimensão superficial 40% mais espessa e 20% mais larga que as folhas não pulverizadas com Cycocel. As folhas tratadas com Cycocel têm um aumento aproximadamente triplicado no número de espaços intercelulares dentro de seus mesófilos. Medidas espectrofotométricas de folhas individuais num intervalo de comprimento de onda de 500-2500 $m\mu$ revelou um aumento de 5% na reflectância sobre o intervalo de comprimento de onda 500-1350 $m\mu$ e um decréscimo de 6% na transmitância sobre o intervalo de 500-2500 $m\mu$ para folhas tratadas, comparadas com as não tratadas. O aumento da reflectância e o decréscimo

mo da transmitância sobre o intervalo de comprimento de onda 750-1350 $m\mu$ foram principalmente associadas com o aumento do número de espaços de ar no mesófilo da folha. A diminuição da transmitância de folhas tratadas com Cycocel em intervalos de comprimentos de ondas de 500-700 $m\mu$ e 1350-2500 $m\mu$ foi devida ao aumento da absorptância causada pelo aumento da clorofila e conteúdo de água, respectivamente. O tratamento com Cycocel aumentou em 13% a absorptância para o pico de absorção da clorofila, 550 $m\mu$; somente 2-3% sobre o intervalo de comprimento de onda de 750-1350 $m\mu$ e 10-11% para a banda ou picos de absorção da água, aproximadamente 1450-1950 $m\mu$, respectivamente. A reflectância da luz infravermelha de folhas individuais, medida com um espectrofotômetro, foi inversamente relacionada e a reflectância da luz visível foi diretamente relacionada com a reflectividade de campos de algodão detectados e registrados no filme aéreo infravermelho Kodak Ektachrome tipo 8443 e com um Kodak Wratten nº 15(G), com filtro de luz laranja, durante um sobrevôo fotográfico.

Para KNIPLING (1970), o conhecimento da maneira como a radiação solar interage com a vegetação é necessário para processar e interpretar dados de sensoriamento remoto da agricultura e de alguns recursos naturais. Uma folha típica de planta tem uma reflectância baixa na região espectral do visível devido à forte absorção pela clorofila; uma reflectância relativamente alta no infravermelho é devida ao espalhamento interno da folha e não à absorção; e uma re-

reflectância relativamente baixa no infravermelho ao redor de $1,3 \mu\text{m}$, é devida à forte absorção pela água. A reflectância de um dossel é similar, mas é modificada pela não uniformidade da incidência da radiação solar, estrutura da planta, área foliar, sombras e refletividade de fundo (background). Sensores em avião recebem uma visão integrada de todos estes efeitos, e cada cultura ou tipo de vegetação tende a ter uma "assinatura" característica, a qual permite a sua discriminação. Quando a doença ou estresse fisiológico afetam diretamente as propriedades de reflectância de folhas individuais, as mudanças iniciais mais pronunciadas, frequentemente, ocorrem mais na região espectral do visível do que no infravermelho, devido à sensibilidade da clorofila aos distúrbios fisiológicos. A base inicial para a detecção de condições de estresse numa cultura ou outra comunidade vegetal por sensores remotos aéreos, porém, não é uma mudança nas características de reflectância de folhas individuais, mas uma redução no total da área foliar exposta para o sensor. Esta redução pode resultar de uma perda direta de folhas, uma mudança em sua orientação, ou uma supressão de toda planta no terreno. Em tais casos a reflectância infravermelha total tende a ter uma redução relativamente menor que a reflectância do visível por causa de uma redução no realçamento do infravermelho devido às camadas múltiplas menores da folha e por causa de um aumento no fundo (background) exposto.

STORY & YAPP (1972) explicam que plantas verdes, quando doentes ou quando sob déficit hídrico, têm uma

reflectância infravermelha mais baixa do que as plantas saudáveis e, conseqüentemente, quando fotografadas com filme falsa-cor (Kodak Ektachrome Infrared), produzem uma imagem azul. Contudo, em testes de laboratório com amostras de *Eucalyptus radiata*, a reflectância infravermelha das folhas que estavam úmidas, quando colhidas avermelhadas igualmente tornaram-se secas e não produziram a cor azul da imagem de falsa-cor em nenhum estágio. Imagens azuis do topo foram registradas em fotografias tiradas no campo, mas isto pode ser atribuído à presença de muitas flores, que produzem uma reflectância mais baixa de comprimentos de onda do infravermelho. As experiências indicam que em *Eucalyptus radiata*, o stress da umidade antes das árvores serem visivelmente afetadas não será detectado em filme falsa-cor.

GAUSMAN *et alii* (1974) relatam que campos com plantas de sorgo normais e cloróticas (*Sorghum bicolor* (L.) Moench), foram aerofotografados a uma altitude de 152 m com filme Kodak infravermelho colorido. Medições de campo e de laboratório foram efetuadas para determinar as relações de tamanho da planta (área foliar total; volume e índice de área foliar) e a concentração de clorofila para reação do filme. A reflectância da folha foi medida no laboratório com um espectrômetro e a reflectância da cobertura foi medida no campo com um espectrorradiômetro. As plantas normais tinham tanto áreas totais de folha, quanto volumes e índices de área foliar maiores do que as plantas cloróticas e de 6 até 10 vezes mais concentração de clorofila. As folhas cloróti-

cas tinham estrutura celular deformada e maior reflectância na região do visível, quando comparadas com folhas normais. A concentração de clorofila em folhas cloróticas, expressa em miligramas de clorofila por centímetro cúbico de volume de folha, foi positivamente correlacionada com leituras de densidade do filme. Imagens no filme tornam-se mais escuras com o aumento da concentração de clorofila. O tamanho da planta não foi relacionado à leitura da densidade.

Segundo SIEGAL & GOETZ (1977), o efeito da ocorrência natural da vegetação na reflectância espectral de materiais terrestres na região de comprimentos de onda de 0,45 a 2,4 μm tem sido determinada por computador, habitualmente a partir de dados espectrais adquiridos localmente. A vegetação natural pode mascarar e alterar significativamente a resposta espectral do terreno, como aquelas medidas por "scanners" multiespectrais, em avião ou satélite. Quanto à significância da cobertura vegetal do terreno, materiais de baixo albedo são os mais significativamente afetados e podem ter a identificação alterada com 10% da cobertura vegetal verde. Vegetação morta ou seca não altera muito a forma da curva de reflectância espectral e muda somente o albedo com o mínimo de dependência do comprimento de onda. Com o aumento da quantidade de vegetação, as razões entre bandas MSS do Landsat, 4/6; 4/7; 5/6 e 5/7 decrescem significativamente, enquanto as razões MSS 4/5 e 6/7 permanecem relativamente constantes.

De acordo com PIECH *et alii* (1979), algoritmos foram desenvolvidos para possibilitar a classificação de seis características simples do terreno (metal, água, superfície pavimentada, solo e areia, vegetação clara e escura, principalmente floresta) a partir de imagens de filme colorido padrão; tendo os testes sido realizados em cinco áreas no Estado de New York. A técnica que é baseada em medição de reflectância de objetos em três camadas do filme colorido, incorpora um processo para remover variáveis atmosféricas e de exposição de forma que novas séries de dados de treinamento não são necessários para cada missão de coleta de dados. A classificação dos algoritmos mostrou ser 97% precisa, usando imagens em escalas tão pequenas quanto 1:100.000 (tiradas de 50.000 pés de altitude).

FULLER & ROUSE (1979) apresentaram dados de um estudo de uma sequência de superfícies queimadas (há 0, 1, 2, 25 e 80 anos) de floresta "spruce lichen" (dominada por *Picea mariana*) em um "drumlin" em Saskatchewan - Canadá. A reflectância média aumentou com a idade da queima e as características espectrais alteraram-se substancialmente depois da re-vegetação, com diminuição de reflectância para as faixas do azul e vermelho e aumento para verde e infravermelho. Condições difusas e obscuras reduziram a reflectância para todas as superfícies. O efeito de uma cobertura de floresta estacional foi variável e menos prognosticável, uma vez que tornou-se mais complexo.

TALERICO *et alii* (1980) explicam que a desfoliação por *Lymantria dispar* foi medida em uma área de 0,4 hectare de uma amostra dominada por carvalho, principalmente *Quereus spp*, na Pensilvânia Central, usando: (a) dados de reflectância (R) de fotografias aéreas sequenciais tiradas com filmes colorido infravermelho (CIR) escala 1:33.680 e analisadas pela técnica de padrão de cor de cena, técnica que produz medidas absolutas de R; e (b) estimativas de campo. Dados para R foram também coletados em uma área comparável, não desfoliada. Desfoliação em (b) foi relacionada com (a) por uma função polinomial de terceira ordem do (Índice de desfoliação mariposa "gypsy" de fotografia aérea - APGMDI), por sua vez uma função de $R_{ir} / R_{vermelho} / R_{verde}$ na maturidade e reflectância média para IR, vermelho e verde; a correlação foi boa ($r^2 = 0,78$). A técnica é provavelmente econômica e é aplicável a outros insetos e tipos de florestas e para monitoramento de pulverização.

Segundo CURRAN (1982), usualmente há uma relação positiva entre a razão de reflectância bidirecional do vermelho ao infravermelho próximo e a biomassa da vegetação verde até a assíntola da reflectância bidirecional da vegetação. Entretanto, a reflectância bidirecional é conhecida por variar independentemente da biomassa verde devido ao efeito da formação do solo; à presença de vegetação senescente; ângulo do sol e sensor; à geometria da cobertura e mudanças episódicas e fenológicas da cobertura (CURRAN, 1981). Uma influência pouco estudada sobre a relação entre a

razão de reflectância bidireccional e a biomassa verde é o efeito da produtividade, a qual afetaria teoricamente a reflectância bidireccional vermelha independentemente da biomassa verde. Usando dados de reflectância obtidos a partir de um conjunto de 22 fotografias aéreas quase verticais e um conjunto de 56 fotografias oblíquas do terreno, foi demonstrado que: (1) o valor da diferença da razão de reflectância bidireccional calculada pela biomassa verde poderia aumentar ao redor de 6% com o aumento da produtividade; e (2) num local de pastagem com baixa biomassa verde porém alta produtividade, a razão de reflectância bidireccional foi mais alta que para um local de pastagem com alta biomassa verde e com baixa produtividade.

Para CURRAN & MILTON (1983), a reflectância de um dossel vegetal é determinada principalmente por seu índice de área foliar (IAF); que é a superfície de área foliar por unidade de área do terreno, a qual é usualmente correlacionada à concentração de clorofila (o total de clorofila por unidade de área do terreno) dentro do dossel. Este experimento de laboratório sobre o crescimento do agrião ondulado *Lepidium sativum* (L.), indica que durante estresse hídrico não há correlação entre concentração de clorofila e IAF e, portanto, não há correlação entre concentração de clorofila e reflectância do dossel.

JACKSON *et alii* (1983) explicam que dados de reflectância foram obtidos para lotes de trigo com estresse hídrico e outros bem supridos de água, com um radiômetro

manual tendo bandas similares ao MSS do satélite Landsat. Dados para 48 dias claros foram interpolados para permitir obter valores de reflectância para cada dia do período de crescimento, do plantio a colheita. Com um modelo linear de radiância atmosférica e dados de calibração do Landsat-2, as reflectâncias foram usadas para simular o resultado digital do Landsat (não quantizado) para as quatro bandas, para cada um dos dias do período de crescimento, através de uma atmosfera clara ($\cong 100$ km de visibilidade) e de uma densa ($\cong 10$ km de visibilidade). Várias combinações lineares e de razões entre bandas foram calculadas usando dados simulados, avaliando então sua relativa capacidade para discriminar crescimento vegetativo e estresse da planta através das duas atmosferas. Os resultados mostraram que o estresse hídrico não foi detectado por nenhum dos índices até o crescimento posterior ser retardado; e que a sensibilidade de vários índices de vegetação depende do estágio de crescimento da planta e da radiância atmosférica.

GERBERMANN *et alii* (1984), tiveram como objetivo examinar as relações entre porcentagem de reflectância (para comprimentos de onda de $1,65 \mu\text{m}$ até $2,20 \mu\text{m}$ e para faixas de comprimentos de onda e $1,55 \mu\text{m}$ até $1,75 \mu\text{m}$ e $2,10 \mu\text{m}$ até $2,30 \mu\text{m}$) e (1) componentes do cenário (cobertura de planta, sombra e solo iluminado pelo sol), (2) população de plantas, (3) biomassa e (4) a condição de superfície do solo sob a cobertura da planta. As medidas de reflectância foram feitas com um espectrorradiômetro de campo (Exotech Model

200 em cinco amostras da população de plantas de sorgo alcançando de 50.000 até 3,25 milhões de plantas/ha, todas com a mesma condição de superfície de solo; e em três populações de plantas variando de 370.000 até 1,42 milhões de plantas/ha, cada uma com três diferentes condições de superfície de solo sob a cobertura de plantas. Relações para a porcentagem de reflectância (comprimento de onda de 1,65 μm até 2,20 μm e faixas de comprimento de onda de 1,55 μm até 1,75 μm e de 2,10 μm a 2,30 μm) com porcentagem de solo iluminado pelo sol foram correlacionados significativamente positivos; enquanto as relações entre reflectância e porcentagem de cobertura vegetal, porcentagem de sombra, população de plantas e biomassa foram correlacionados significativamente negativos. Para todas as populações de plantas, as porcentagens de reflectância (para comprimento de onda 1,65 μm e para faixa de comprimento de onda e 1,55 μm até 1,75 μm) para coberturas com superfície de solo-encrostrado seco foram significativamente mais altas, estatisticamente, do que aquelas para coberturas com superfícies de solo seco-encrostrado-quebrado; enquanto a reflectância para cobertura com superfície de solo-encrostrado-quebrado-seco ou encrostrado-quebrado-úmido foram estatisticamente iguais.

Os resultados obtidos por GERBERMANN *et alii* (1984) indicam que a reflectância medida nestes comprimentos e faixas espectrais podem ser usadas para determinar a quantidade de cobertura de plantas vivas na superfície do solo num determinado ponto no tempo; e que a claridade ou a

escuridão da superfície do solo sob cobertura de plantas tem um efeito significativo sobre as reflectâncias do dossel, particularmente nas populações de plantas de porte baixo.

KADRO (1984) relata que medições de reflectância espectral infravermelha e visual (entre 500 nm e 1100 nm) foram feitas em amostras de florestas e culturas agrícolas. Um "scanner" multiespectral operando em alturas de até 3.800 m deu resultados mais confiáveis do que um espectrorradiômetro operando a 17 m de altura. Curvas de reflectância foram obtidas para *Norway spruce* (em vários ângulos de observação), carvalho, *Corsican pine*, *Scots pine* e amostras de *Pinus pinea*.

CHIAO & CHANG (1984) descrevem um estudo com mudas de quatro espécies importantes em Taiwan, *Cryptomeria japonica*, *Taiwania cryptomerioides*, *Cunninghamia lanceolata* e *Calocedrus (Libocedrus) formosana*, usando dois radiômetros de quatro bandas com as mesmas amplitudes de faixa que o "scanner" multiespectral do Landsat. A identificação mais exata das espécies foi realizada usando dados de todas as quatro bandas; mas as baixas 6 e 7 foram melhores quando foi usada uma só faixa; a primavera foi a melhor estação para medições. Houve uma correlação positiva significativa entre biomassa e assinaturas espectrais de diferentes combinações de bandas.

GAUSMAN (1984) comenta que a reflectância em comprimentos de onda 0,45 μm ; 0,55 μm e 0,65 μm de laranja valência (*Citrus sinensis*) crescida na sombra ou exposta à

luz do sol, foi examinada com relação à clorofila e a quantidade de água, densidade e volume de ar no mesófilo. A reflectância das folhas sombreadas foi afetada apenas pela quantidade de água no comprimento de onda de $0,45 \mu\text{m}$; enquanto que a das folhas iluminadas, foi afetada pela quantidade de água, clorofila e ar no mesófilo. Concluiu-se que a influência dos dois tipos de folhas deveriam ser consideradas quando se modela reflectância de coberturas.

CHIAO & CHENG (1985) explicam que a reflectância de sete espécies de árvores, *Taiwania cryptomerioides*; *Chamaecyparis formosensis*; *Podocarpus macrophylla* (*macrophyllus*); *Araucaria excelsa* (*heterophylla*); *Cinnamomum camphora*; *Schefflera octophylla*; *Calocedrus* (*Libocedrus*) *formosana*, foram medidas no campo, no outono de 1979, usando um radiômetro de 4 bandas. Curvas de reflectância espectral foram obtidas para cada árvore. Diferenças significativas entre espécies foram constatadas apenas na região do infravermelho. Numa segunda experiência com *Cryptomeria japonica*, diferenças em reflectância espectral foram constatadas entre árvores saudáveis e não saudáveis, novamente na região do infravermelho.

DALE *et alii* (1986) explicam que fotografias aéreas infravermelhas coloridas tomadas sobre o sudeste de Queensland na Austrália, num pântano salobro no outono e primavera, foram ampliadas para uma escala 1:1.100. Reflectâncias registradas em amostras locais obtidas a partir de medidas através de filtros neutro, azul, verde e vermelho de

um densitômetro foram usadas como atributos num procedimento de análise de agrupamento. As classes produzidas foram comparadas em termos de seu componente fixo local, atributos discriminantes e relação com dados da vegetação obtidos por amostragem de campo. Embora as reflectâncias variassem sazonalmente, os resultados da classificação foram similares para cada estação e as características da vegetação corresponderam bem às classes produzidas. As maiores diferenças sazonais ocorreram na reflectância através dos filtros vermelho e azul representando as faixas espectrais infravermelho e verde. As fotografias tomadas no outono, com alta reflectância no vermelho, forneceram discriminação máxima entre as classes.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Caracterização da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se no município de Mogi-Guaçu - SP, Região Administrativa de Campinas, entre as coordenadas $22^{\circ}05'S$ e $22^{\circ}15'S$, e $47^{\circ}05'W$ e $47^{\circ}10'W$, conforme Figura 3.

Figura 3 - Mapa de localização da área de estudo.

O trabalho foi desenvolvido no Horto Santa Terezinha, de propriedade da Champion Papel e Celulose S.A.

A área total da fazenda é de 3.284,04 ha; sendo que deste total 2.707,90 ha são ocupados por *Eucalyptus* spp; 85,16 ha por *Pinus* spp; 250,76 ha por Bambu e 8,19 ha por Essências Nativas.

Quanto ao tipo de solo, trata-se de Latossolo Vermelho Amarelo (LVA) conforme classificação e descrição de OLIVEIRA *et alii* (1982) - quadrícula de Araras. Mais precisamente, a área pertence à unidade Laranja Azeda, que é um LVA álico com A moderado, textura média e relevo suave ondulado.

Essa unidade é a mais extensa da quadrícula, cobrindo 58.757,9 hectares, perfazendo 46,9% dos latossolos, ocupando extensas áreas representadas por colinas de vertentes longas e suaves, geralmente, com declives inferiores a 5% e topos aplainados. Ainda segundo OLIVEIRA *et alii* (1982), o material de origem deve estar relacionado com os depósitos rudáceos arenosos do neoceno-zóico (Figura 4).

Segundo o mapa geológico do Estado de São Paulo (INSTITUTO GEOGRÁFICO E GEOLÓGICO, 1974, citado por OLIVEIRA *et alii*, 1982), a geologia está representada por rochas relacionadas com o grupo Tubarão do permocarbonífero, com as formações Irati e Corumbataí do grupo Passa-Dois, com intrusivas básicas, com arenitos da formação Botucatu - Pirambóia, e com sedimentos cenozóico.

Figura 4 - Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo - Quadrícula de Araras - Horto Santa Terezinha - Champion Papel e Celulose S.A.
 FONTE: OLIVEIRA *et alii* (1981).

A vegetação original, representada por cerrados e cerradões ainda cobre expressivas áreas, enquanto no restante, o reflorestamento com *Pinus* e *Eucalyptus* e a citricultura, são os principais tipos de cobertura vegetal.

Em relação ao clima, ainda segundo OLIVEIRA *et alii* (1982), a distribuição pluvial segue o regime típico das zonas tropicais de baixa altitude, ou seja, verão chuvoso e inverno seco. A sucessão de períodos chuvosos faz-se claramente marcando com nitidez duas estações: uma seca de inverno, que se estende de abril a setembro; e outra chuvosa de verão, que se estende de outubro a março. O regime térmico acompanha de perto as estações do ano, variando, contudo, gradativamente: médias mensais elevadas no verão, ligeiro decréscimo no outono, valores mais baixos no inverno e acréscimo na primavera. As médias do inverno chegam em junho e julho a valores inferiores a 18°C, superando 22°C em janeiro e fevereiro.

Segundo o sistema de Köppen, é um clima do tipo Cwa, ou seja, mesotérmico de inverno seco.

3.2. Espécies Estudadas

As espécies objeto deste estudo foram: *Eucalyptus grandis*; *Eucalyptus saligna*; *Eucalyptus urophylla*; *Eucalyptus alba* e *Eucalyptus* spp, com diferentes idades, rotação, adubação, espaçamento e tratamentos culturais.

Essas espécies foram plantadas em talhões com diferentes áreas de ocupação. A distribuição desses talhões dentro da área efetiva de plantio pode ser observada através da Figura 5.

Ao todo foram estudados 32 talhões, distribuídos da seguinte maneira: *Eucalyptus grandis* = 17; *Eucalyptus saligna* = 11; *Eucalyptus urophylla* = 4.

3.3. Cálculo do Volume de Madeira

O volume cilíndrico de madeira em pé foi obtido por meio de método tradicional.

No caso do Horto Santa Terezinha foi utilizado o método de amostragem, ou seja, dentro de cada talhão foram demarcadas algumas amostras. O número de amostras variou de 2 a 8 por talhão.

Demarcada a amostra, foi medido o DAP (Diâmetro a Altura do Peito - 1,30 m do solo) de cada árvore que compõe a amostra, e a altura utilizada foi a altura média das 5 árvores dominantes.

Obtido o DAP, foi calculada a área basal (ab) (m^2), através da fórmula:

$$ab = \frac{\pi}{4} \cdot DAP^2$$

Em seguida, foi calculada a Área Basal Total (AB_t), ou seja, $AB \cdot N$; onde N é o número de árvores com a mesma área basal.

Tendo-se a Área Basal Total, a Área Basal/ha (AB) foi obtida através de AB_i multiplicada por f (fator de correção = 25).

Figura 5 - Distribuição dos talhões de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*.
FONTE: CHAMPION PAPEL E CELULOSE S. A.

Finalmente, foi calculado o Volume Cilíndrico (VC) por hectare:

$$VC/ha = \frac{\pi}{4} \cdot AB \cdot H$$

onde:

VC = volume cilíndrico (m³);

AB = área basal (m²);

H = altura média (m).

Todas as medidas e cálculos foram realizados em formulários padronizados.

3.4. Fotografias Aéreas

As fotografias aéreas utilizadas são provenientes de um vôo realizado em julho de 1982, pelo Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE), vôo esse denominado "Conchal".

As fotografias utilizadas no estudo se apresentam na forma de transparências positivas infravermelhas coloridas, no formato 230 mm x 230 mm e com uma escala aproximada de 1:10.000.

O filme utilizado para obtenção das fotografias foi o Aerochrome Infrared 2443, que apresenta alta estabilidade dimensional para levantamentos florestais conforme Tabela 1, que fornece algumas características de filmes infravermelhos.

Tabela 1 - Características de alguns filmes Kodak para fotografias aéreas.

Infrared Aerographia (Estar base)	2 424	I N F R A V E R M E L H O S	Filme P/B que minimiza efeitos de nevoas, para localização de corpos de água, levantamentos florestais e fotografias multibanda.
Aerochrome Infrared (Estar base)	2 443		Filme reversível, falso colorido, alta, estabilidade dimensional para levantamentos florestais e detecção de camuflagem.
Aerochrome Infrared (Estar thin base)	3 443		Filme reversível, falso colorido para sensoriamento remoto, levantamentos florestais e detecção de camuflagem, maior motragem por carrêtel.

FONTE: GARCIA (1982).

3.5. Densitômetro

Para efetuar as medidas de densidade óptica em transparências infravermelhas coloridas foi utilizado o densitômetro de transmissão Macbeth TD 504 (Figura 6), equipado com filtros Wrattens 92 (vermelho), 93 (verde), 94 (azul) e 106 (visual). A Figura 7 mostra a densidade e a faixa de onda em que operam cada um dos filtros do aparelho.

Esse tipo de densitômetro apresenta três opções de abertura para passagem de luz, ou seja, aberturas com diâmetro de 1mm, 2 mm e 3 mm.

O sistema de operação desse aparelho é simples como pode ser visualizado através da representação esquemática mostrada na Figura 8.

Figura 6 - Densitômetro de Transmissão TD 504.

FONTE: MACBETH COLOR & PHOTOMETRY DIVISION (1973).

Figura 7 - Características dos filtros TD 504.

FONTE: MACBETH COLOR & PHOTOMETRY DIVISION (1973).

Figura 8 - Representação esquemática de um densitômetro de transmissão, tipo pontual.

FONTE: GARCIA (1982).

3.6. Análise Densitométrica

Para a realização das medidas de densidade óptica, tomaram-se as transparências com os respectivos talhões já identificados e sobre elas foram fixadas folhas de acetato.

A função desses acetatos foi para que se pudesse formar uma malha quadriculada sobre cada talhão. As quadriculas foram delimitadas em 2 mm x 2 mm.

Tendo-se a malha quadriculada, procedeu-se às medições ponto a ponto. Cada ponto amostrado foi medido quatro vezes, ou seja, foram utilizados os quatro filtros do densitômetro, respectivamente azul, verde, vermelho e visual; e a abertura utilizada foi a de diâmetro de 1 mm.

Para os 32 talhões foram totalizadas cerca de 35.296 medidas. O talhão de maior área apresentou 529 pontos amostrados e o de menor área 196 pontos, para cada filtro.

3.7. Análise Estatística

Para a análise dos dados foi usada a Regressão Linear Simples, uma vez que a Análise de Regressão dentre outros propósitos, serve para descrever, controlar e prever valores. Ou seja, a análise de regressão estuda a relação entre duas ou mais variáveis, de tal forma que uma variável pode ser predita por outra ou por outras.

O modelo estatístico

$$y = \alpha + \beta X + \varepsilon$$

onde:

y é o valor da variável resposta

α e β são parâmetros desconhecidos

X é uma constante conhecida (variável independente)

ε é o erro aleatório $\sim \text{NIID}(0, \sigma^2)$

foi utilizado para cada espécie em cada tipo de filtro, sendo definido como variável independente (X) a densidade óptica e como variável dependente (y) o volume/nº de leituras e os valores de α e β foram estimados através das fórmulas

$$\hat{\alpha} = \bar{y} - \hat{\beta} \bar{X}$$

$$\hat{\beta} = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum (x_i - \bar{x})^2}$$

- Coeficiente de Determinação

É uma medida descritiva de associação entre duas variáveis X e y denominada R^2 , e tal que a sua variação é entre $0 \leq R^2 \leq 1$. Ou seja, o grau de associação pode captar informação do tipo se uma dada relação de regressão é útil numa particular aplicação.

Podemos interpretar R^2 como uma redução proporcional da variação total, associada ao uso da variável independente X . E os limites de R^2 ocorrem quando:

- a) $R^2 = 1$: todos os pontos observados coincidem com a reta de regressão.
- b) $R^2 = 0$ implica $\hat{\beta} = 0$ e acontece quando não existe relação entre X e y .

Na prática, R^2 não é exatamente 0 ou 1 e sim valores entre esses limites.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das medições de densidade óptica para os talhões de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus urophylla*, encontram-se nas Tabelas 2, 3, e 4, respectivamente. Nessas tabelas são apresentadas as leituras efetuadas com os quatro filtros - azul, verde, vermelho e visual; sendo que cada filtro determina a composição espectral da luz incidente na imagem da qual se deseja avaliar a densidade óptica.

A densidade óptica foi determinada pela composição e quantificação da luz transmitida através da imagem. A luz resultante, por exemplo, do filtro vermelho, com composição espectral na faixa do vermelho, ao incidir em uma imagem de matiz também vermelho, produzirá altos valores de transmitância e, conseqüentemente, baixos valores de densidade.

Nas referidas tabelas são apresentados, também, o volume cilíndrico em metros cúbicos, o número de pontos medidos e o volume por quadrícula para cada talhão estudado. As leituras de densidade D apresentadas foram multiplicadas pelo fator 100, conforme RIB (1968).

Uma das preocupações deste trabalho foi a de ajustar equações de regressão para obtenção do volume cilíndrico, através da densitometria, para três espécies de eucalipto e, conseqüentemente, que se conseguisse rapidez e precisão. Para isso optou-se por trabalhar com fotografias aéreas infravermelhas coloridas que, de acordo com ANSON (1968), GARCIA (1975) E STHEPHENS (1976), são as que fornecem maior número de informações, dentre os tipos de fotografias aéreas.

As medidas densitométricas em talhões homogêneos, ou seja, talhões em que as árvores já atingiram uma altura e um diâmetro suficientes para a não exposição do solo, mostraram-se com valores menores no filtro vermelho em relação aos demais filtros. Isto está de acordo com o que BROONER & SIMONETT (1971) afirmam, ou seja, de que a tonalidade magenta que caracteriza as fotografias do reflorestamento são resultado da alta reflexão no infravermelho.

O mesmo não ocorreu para os talhões de números: 102, 149, 152 e 153 de *Eucalyptus grandis* e 4 de *Eucalyptus saligna* onde houve corte raso e os talhões se apresentaram com menor valor de densidade no filtro verde, resultante do predomínio dessa tonalidade no matiz, devido à grande contribuição da cor avermelhada do solo, coberto ainda parcialmente pelo eucalipto em brotação.

Circunstâncias de época e local, como data de plantio ou de corte anterior, tratos culturais diferenciados, são alguns dos fatores que podem influir na tonalidade

do eucalipto em fotografias infravermelhas coloridas.

Nas Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9 encontram-se os valores da razão $1/D$ para os quatro filtros e $1/(\text{volume}/n^{\circ} \text{ leituras})$ para o *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus urophylla*, respectivamente.

4.1. *Eucalyptus grandis*

No estudo da relação entre as variáveis densidade (X) e volume (Y) foram obtidas equações de regressões para cada tipo de filtro, encontrando-se as seguintes equações, e seus respectivos R^2 .

Tipo de filtro	Equações	R^2
Azul	$Y = 0,02445 + 0,00541X$	0,0508
Verde	$Y = 0,07797 + 0,00483X$	0,0608
Vermelho	$Y = 2,69030 - 0,02518X$	0,1591
Visual	$Y = 0,19049 + 0,00476X$	0,0254

As Figuras 9, 10, 11 e 12 contêm o valor observado e os valores estimados de densidade óptica (por tipo de filtro). Observa-se que os coeficientes de determinação encontrados para cada regressão estão próximos de zero o que indica que a relação de regressão com essas variáveis não é a mais apropriada, o que é ilustrado também pelas figuras.

Com o objetivo de melhorar essa relação foram feitas transformações nas variáveis X ($=1/X$) e Y ($=1/Y$) e obtidas novas equações de regressões, indicadas a seguir,

bem como as Figuras 13, 14, 15, 16 e 17.

Tipo de filtro	Equações	R^2
Azul	$1/Y = 0,23453 + 269,3404(1/X)$	0,7413
Verde	$1/Y = 0,14345 + 251,49653(1/X)$	0,8735
Vermelho (C.1)	$1/Y = 3,21027 - 158,3996(1/X)$	0,5942
Vermelho (C.2)	$1/Y = 22,68715 - 1349,7259(1/X)$	0,5093
Visual	$1/Y = - 1,07006 + 345,2489(1/X)$	0,8723

Observa-se que, com as transformações nas variáveis, os valores de R^2 para os filtros: azul, verde e visual ficaram superiores a 0,70 (valor próximo de 1) explicando assim uma relação inversa entre volume e densidade. No filtro vermelho, optou-se por dividir o conjunto de dados em dois grupos (maiores e menores valores) uma vez que o grupo todo na regressão, apresentava $R^2 = 0,09$, ainda assim, esse filtro foi o único que, mesmo com a transformação, apresentou R^2 relativamente baixo.

4.2. *Eucalyptus saligna*

No estudo da relação entre as variáveis densidade (X) e volume (Y) foram obtidas equações de regressões entre essas variáveis para cada tipo de filtro, obtendo-se as seguintes equações e seus respectivos R^2 :

Tipo de filtro	Equações	R ²
Azul	$Y = -0,33495 + 0,006840X$	0,3180
Verde	$Y = 0,22001 + 0,003198X$	0,3137
Vermelho	$Y = -0,14945 + 0,01007X$	0,1638
Visual	$Y = -0,32779 + 0,00803X$	0,3482

e as Figuras 18, 19, 20 e 21.

Observa-se que os coeficientes de determinação encontrados para cada regressão são baixos, o que indica que a relação de regressão entre essas variáveis não é a mais apropriada.

Com o objetivo de melhorar essa relação, buscando uma maior explicação e estudando-se a relação entre a média e a variância dos dados, optou-se por uma transformação de variáveis (X e Y) do tipo inversa, ou seja $1/X$ e $1/Y$. Novamente, agora com os dados transformados, obtiveram-se as equações de regressão indicadas a seguir, bem como as Figuras 22, 23, 23, 25 e 26.

Tipo de filtro	Equações	R ²
Azul	$1/Y = -0,4824 + 341,3013(1/X)$	0,6915
Verde	$1/Y = 0,2091 + 249,3252(1/X)$	0,7581
Vermelho (C.1)	$1/Y = -0,9467 + 172,4991(1/X)$	0,7398
Vermelho (C.2)	$1/Y = 10,8785 - 612,0092(1/X)$	0,7768
Visual	$1/Y = -0,9616 + 348,6259(1/X)$	0,7620

Observa-se que, com as transformações das variáveis, os valores de R² para os filtros: azul, verde e visual aumentaram consideravelmente em relação a primeira aná-

lise feita. Quanto ao filtro vermelho, observa-se um aumento substancial de R^2 , quando o conjunto de dados foi dividido em dois, uma vez que para o conjunto total o valor foi de 0,0322.

4.3. *Eucalyptus urophylla*

No estudo da relação entre as variáveis densidade (X) e volume (Y) foram obtidas equações de regressões entre essas variáveis para cada tipo de filtro, e encontrou-se as seguintes equações e suas respectivas Figuras 27, 28, 29 e 30.

Tipo de filtro	Equações	R^2
Azul	$Y = 0,14636 + 0,00477X$	0,1112
Verde	$Y = -0,3498 + 0,00667X$	0,2433
Vermelho	$Y = 0,52459 + 0,00483X$	0,0608
Visual	$Y = -0,15076 + 0,00765X$	0,1562

Observa-se que o coeficiente de determinação encontrado para cada regressão é baixo, o que indica que a relação de regressão entre essas variáveis não é a mais apropriada.

Como nos casos anteriores, optou-se pela transformação do tipo inversa ($1/X$ e $1/Y$). Feitas as transformações, resultaram as seguintes equações, bem como as Figuras 31, 32, 33 e 34.

Tipo de filtro	Equações	R ²
Azul	$1/Y = -1,24968 + 408,4493(1/X)$	0,4049
Verde	$1/Y = -1,82327 + 583,8834(1/X)$	0,6148
Vermelho	$1/Y = -0,4423 + 141,20535(1/X)$	0,3221
Visual	$1/Y = -1,7719 + 424,1275(1/X)$	0,4873

Observa-se que, com as transformações das variáveis, os valores de R² apesar de sofrerem um aumento (comparativamente aos casos anteriores), ainda assim se apresentam baixos, o que talvez possa ser explicado pela quantidade pequena de informações (4 talhões).

Os valores de R² tanto para o *E. grandis* como para o *E. saligna*, nos filtros - azul, verde, vermelho e visual, com exceção do vermelho para *E. grandis* tiveram valores acima de 0,69. Estes valores vêm de encontro aos resultados obtidos por MACLEAN & MARTIN (1985), ou seja, valores para R² de 0,67 - 0,79. E, quando trabalharam com micro-aberturas, para áreas relativamente pequenas, conseguiram valores para R² de 0,82 - 0,88.

Os valores de R² para o filtro vermelho no *E. grandis* não responderam da mesma maneira que os demais filtros quando se usou a transformação, mesmo separando os dados em 2 conjuntos; a não resposta desse filtro pode ser explicada da seguinte maneira:

- observando-se a disposição dos talhões dentro do reflorestamento constatou-se que 4 talhões (102, 149, 152 e 153), como pode ser observado na Figura 5, estão próximos uns dos outros, respondendo de maneira semelhante às leituras

ras e, que o talhão 101 do *E. saligna* também está no mesmo bloco e apresentou o mesmo comportamento;

- para o *E. saligna* a não influência desse valor deve-se, provavelmente, ao fato de ser somente um talhão com esse tipo de resposta dentre os 11 analisados;

- já para o *E. grandis* são 4 talhões dentre os 17, com a ressalva de que o talhão 114, apesar de não pertencer ao mesmo bloco, também apresentou baixos valores de leituras em relação aos demais;

- as prováveis causas podem ser: problema de solo, tratos culturais, doenças, estresse híbrido, a posição em que a fotografia foi tirada ou ainda o processamento da mesma, salientando que estes fatores influenciam na resposta espectral da planta.

Vale ressaltar que se considerou baixos os valores de R^2 para o filtro vermelho do *E. grandis* e, também, para os do *E. urophylla*, sendo que neste foram baixas para todos os filtros, pelo fato de ter-se encontrado valores acima de 0,70 para os demais filtros, tanto para o *E. grandis* como para o *E. saligna*.

Cumpre-nos ressaltar que conforme foi destacado na revisão de literatura, não se encontrou nenhum trabalho específico sobre densitometria de povoamentos de eucaliptos em fotografias infravermelhas coloridas, com ênfase na relação volume/densidade óptica, de modo que não são disponíveis resultados que possam servir de termo de comparação para os obtidos no presente trabalho.

Tabela 2. Densitometria dos talhões para *Eucalyptus grandis*.

NÚMERO DOS TALHÕES	FILTROS (D X 100)				VOLUME CILÍN- DRICO (m ³)	NÚMERO DE LEITURAS	VOLUME/ Nº DE LEITURAS
	AZUL	VERDE	VERMELHO	VISUAL			
43	167,19	167,51	96,72	138,13	330,17	480	0,68785
26	139,64	152,68	77,94	120,84	317,60	465	0,68301
07	144,17	170,11	70,71	126,16	166,16	225	0,73849
15	134,62	140,27	63,14	108,08	307,45	72	4,27014
114	90,24	79,95	88,83	80,22	15,37	210	0,07319
89B	150,44	149,21	120,23	137,90	16,98	248	0,06847
92	167,34	182,81	84,53	138,12	141,27	162	0,87204
64A	125,44	129,01	65,74	103,30	106,16	262	0,41664
64B	136,34	147,41	59,63	109,40	109,16	72	1,51611
102	62,57	57,19	97,03	64,23	69,82	271	0,25764
149	68,02	55,44	76,69	59,09	78,07	376	0,20763
152	54,30	49,84	77,05	55,37	61,10	323	0,18916
153	63,15	48,66	83,44	53,66	55,23	311	0,17759
66	137,56	143,13	76,24	115,42	134,71	256	0,52621
70	155,74	194,91	68,83	131,80	48,36	98	0,49347
72	177,06	174,91	76,36	130,50	105,14	256	0,41070
73	156,60	154,10	58,55	115,96	92,23	256	0,36027

Tabela 3. Densitometria dos talhões para *Eucalyptus saligna*.

NÚMERO DOS TALHÕES	FILTROS (D X 100)				VOLUME CILÍN- DRICO (cm ³)	NÚMERO DE LEITURAS	VOLUME/ Nº DE LEITURAS
	AZUL	VERDE	VERMELHO	VISUAL			
24	144,84	136,31	83,63	111,10	175,46	528	0,33231
30	171,61	178,59	93,19	139,88	240,23	256	0,93840
05	145,09	173,83	73,73	132,84	121,37	238	0,50996
101	66,15	54,48	90,93	61,94	51,60	237	0,21772
42	215,74	289,91	127,73	193,60	29,52	49	0,60245
28A	154,30	140,91	70,04	118,29	207,63	529	0,39250
28B	154,84	179,21	85,95	134,20	309,58	233	1,32867
52	201,14	260,61	111,83	175,10	249,85	140	1,78464
12	143,48	166,42	69,45	125,48	170,15	256	0,66465
16	145,84	144,11	68,58	112,40	84,63	170	0,49782
17	163,64	190,61	81,37	137,90	182,36	253	0,72079

Tabela 4. Densitometria dos talhões para *Eucalyptus urophylla*.

NÚMERO DOS TALHÕES	FILTROS (D X 100)				VOLUME CILÍN- DRICO (m ³)	NÚMERO DE LEITURAS	VOLUME/ Nº DE LEITURAS
	AZUL	VERDE	VERMELHO	VISUAL			
31	205,24	229,11	115,53	169,30	239,39	240	0,99746
13	159,63	191,70	79,19	138,51	307,45	72	1,42346
08	166,85	199,11	86,03	145,50	133,40	150	0,88933
11	141,06	159,53	70,03	121,20	116,27	240	0,48446

Tabela 5. Inverso da densitometria para talhões de *Eucalyptus grandis*.

NÚMERO DOS TALHÕES	FILTROS (1/D)				1
	AZUL	VERDE	VERMELHO	VISUAL	VOLUME/ Nº LEITURAS
43	0,0059812	0,0059698	0,0103391	0,0072396	1,45380
26	0,0071613	0,0065496	0,0128304	0,0082754	1,46411
07	0,0069363	0,0058785	0,0141423	0,0079264	1,35412
92	0,0059759	0,0054702	0,0118301	0,0072401	1,14674
64A	0,0079719	0,0077513	0,0152114	0,0096805	2,40015
64B	0,0073346	0,0067838	0,0167701	0,0091408	0,65958
102	0,0159821	0,0174856	0,0103061	0,0155690	3,88141
149	0,0147016	1,0180375	0,0130395	0,0169233	4,81619
152	0,0184162	0,0200642	0,0129786	0,0180603	5,28642
153	0,0158353	0,0205508	0,0119847	0,0186359	5,63100
66	0,0072696	0,0069867	0,0131165	0,0086640	1,90038
70	0,0064210	0,0051306	0,0145285	0,0075873	2,02647
72	0,0056478	0,0057172	0,0130959	0,0076628	2,43485
73	0,0063857	0,0064893	0,0170794	0,0086237	2,77567

Tabela 6. Inverso da densitometria para filtro vermelho, agrupado em 2 conjuntos, para *Eucalyptus grandis*.

NÚMERO DOS TALHÕES	CONJUNTO 1		CONJUNTO 2	
	1/D VERMELHO	VOLUME/ Nº LEITURAS	1/D VERMELHO	VOLUME/ Nº LEITURAS
1	0,0103391	1,45381	0,0112575	13,6631
2	0,0128304	1,46411	0,0083174	14,5476
3	0,0141423	1,35411	0,0152114	2,4002
4	0,0158378	0,23418	0,0103061	3,8814
5	0,0118301	1,14674	0,0130395	4,8163
6	0,0167701	0,65958	0,0129786	5,2865
7			0,0119847	5,6309
8			0,0131165	1,9004
9			0,0145285	2,0244
10			0,0130959	2,4349
11			0,0170794	2,7757

Tabela 7. Inverso da densidade para talhões de *Eucalyptus saligna*.

NÚMERO DOS TALHÕES	FILTROS (1/D)				1
	AZUL	VERDE	VERMELHO	VISUAL	VOLUME/ Nº LEITURAS
24	0,0069042	0,0073362	0,0119574	0,0090009	3,00923
30	0,0058272	0,0055994	0,0107308	0,0071490	1,06565
05	0,0068923	0,0057527	0,0135630	0,0075279	1,96095
101	0,0151172	0,0183554	0,0109975	0,0161447	4,59302
42	0,0046352	0,0034493	0,0078290	0,0051653	1,65989
28A	0,0064809	0,0070967	0,0142776	0,0084538	2,54780
28B	0,0064583	0,0055800	0,0116347	0,0074516	0,75263
52	0,0049717	0,0038372	0,0089421	0,0057110	0,56034
12	0,0069696	0,0060089	0,0143988	0,0079694	1,50455
16	0,0068568	0,0069391	0,0145815	0,0088968	2,00874
17	0,0061110	0,0052463	0,0122895	0,0072516	1,38737

Tabela 8. Inverso da densitometria para filtro vermelho, agrupado em 2 conjuntos, para *Eucalyptus saligna*.

NÚMERO DOS TALHÕES	CONJUNTO 1		CONJUNTO 2	
	1/D VERMELHO	VOLUME/ Nº LEITURAS	1/D VERMELHO	VOLUME/ Nº LEITURAS
1	0,0107308	1,06564	0,0119574	3,00924
2	0,0116347	0,75263	0,0135630	1,96094
3	0,0089421	0,56034	0,0109975	4,59306
4	0,0143988	1,50455	0,0142776	2,54777
5	0,0122895	1,38737	0,0145815	2,00876

Tabela 9. Inverso da densitometria para talhões de *Eucalyptus urophylla*.

NÚMERO DE TALHÕES	FILTROS (1/D)				1
	AZUL	VERDE	VERMELHO	VISUAL	VOLUME/ Nº LEITURAS
31B	0,0048723	0,0043647	0,0086558	0,0059067	1,00255
13	0,0062645	0,0052165	0,0126279	0,0072197	0,70251
08	0,0059934	0,0050223	0,0116239	0,0068729	1,12444
11	0,0070892	0,0062684	0,0142796	0,0082508	2,06415

Figura 9. Desempenho do volume/nº leituras para filtro azul em relação a densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 10. Desempenho do volume/nº leituras para filtro verde em relação a densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 11. Desempenho do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação a densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 12. Desempenho do volume/nº leituras para filtro visual em relação a densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 13. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro azul em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 14. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro verde em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 15. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 1, em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 16. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 2, em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 17. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro visual em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus grandis*.

Figura 18. Desempenho do volume/nº leituras para filtro azul em relação a densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 19. Desempenho do volume/nº leituras para filtro verde em relação a densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 20. Desempenho do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação a densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 21. Desempenho do volume/nº leituras para filtro visual em relação a densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 22. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro azul em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 23. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro verde em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 24. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 1, em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 25. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho, conjunto 2, em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 26. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro visual em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus saligna*.

Figura 27. Desempenho do volume/nº leituras para filtro azul em relação a densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 28. Desempenho do volume/nº leituras para filtro verde em relação a densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 29. Desempenho do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação a densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 30. Desempenho do volume/nº leituras para filtro visual em relação a densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 31. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro azul em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 32. Desempenho do inverso do volume/n^o leituras para filtro verde em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 33. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro vermelho em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

Figura 34. Desempenho do inverso do volume/nº leituras para filtro visual em relação ao inverso da densidade óptica para *Eucalyptus urophylla*.

5. CONCLUSÕES

A análise dos resultados obtidos, com o material e métodos utilizados, permitiu tirar as seguintes conclusões:

a) A análise espectral realizada através da densidade óptica utilizando transparências infravermelhas coloridas evidenciou a sua utilidade para a estimativa volumétrica de reflorestamentos com eucaliptos pelo método semi-automático;

b) O grau de detalhamento espacial e espectral das fotografias aéreas infravermelhas coloridas as tornam adequadas a este tipo de trabalho, ou seja, a utilização da densitometria sobre esse material constitui uma alternativa válida para a realização do inventário florestal;

c) O número de talhões amostrados é um fator altamente relevante, pois contribui para a obtenção de equações lineares melhor ajustadas, com altos coeficientes de determinação;

d) Tanto para o *Eucalyptus grandis* como para o *Eucalyptus saligna*, as equações obtidas para os 4 filtros poderão ser de grande utilidade, pois as mesmas foram obtidas através de densidades ópticas de talhões com diferentes

graus de homogeneidade.

Sugere-se a continuidade deste trabalho, a fim de melhorar as equações obtidas, ou seja, trabalhando com dados mais adequados, tais como: maior número de talhões com a mesma espécie e espécies diferentes e com a mesma idade ou bem próximas; medidas de DAP e altura na mesma época; igual número de amostras por talhão; se possível homogeneidade quanto ao tipo de solo e quanto as fotografias aéreas, que estas sejam obtidas no período seco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASE, J.K.; SIDDOWAY, F.H.; MILLARD, J.P. Spring wheat-leaf phytomass and yield estimates from airborne scanner and hard-held radiometer measurements. *International Journal Remote Sensing*, 5(5): 771-781, 1984.
- ANSON, A. Developments in aerial color photography for terrain analysis. *Photogrammetric Engineering*, Falls Church, 34(10): 1048-1057, 1968.
- ARVANITIS, L.G. & NEWBURNE, R. Detecting *Melaleuca* trees and stands in South Florida. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 59(1): 95-98, 1984.
- BROONER, W.G. & SIMONETT, D.S. Crop discrimination with color infrared photography: A study in Douglas, Kansas. *Remote Sensing of Environment*, New York, 2: 21-35, 1971.
- CARROLL, D.M. Remote sensing techniques and their application to soil science. Part 1 - The photographic sensors. *Soil & Fertilizers*, Harpenden, 36(7): 259-266, 1973.
- CHIAO, K.M. & CHANG, B. Studies in the Spectral Reflectance characteristics of four coniferous seedlings. *Forestry Abstracts*, 45(5): 258, 1984.
- CHIAO, K.M. & CHENG, C.C. A study on spectral reflectance properties of trees. *Forestry Abstracts*, 46(4): 215, 1985.

- COLWELL, R.N. Uses and limitations of multispectral remote sensing. Proceedings of Symposium on Remote Sensing of Environment, 4 th. Ann Arbor, 1: 71-100, 1966.
- CURRAN, P.J. Multispectral photographic remote sensing of green vegetation biomass and productivity. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 48(2): 243-250, 1982.
- CURRAN, P.J. & MILTON, E.J. The relationships between the chlorophyll concentration, LAI and reflectance of a simple vegetation canopy. International Journal Remote Sensing, 4(2): 247-255, 1983.
- DALE, P.E.R.; HULSMAN, K.; CHANDICA, A.L. Seasonal consistency of Salt-Marsh vegetation classes classified from large-scale color infrared aerial photographs. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 52(2): 243-250, 1986.
- DONZELI, P.L. Densitometria em aerofotografias coloridas e infravermelhas relacionada às características das cores de três latossolos. Dissertação de Mestrado, ESALQ/USP, Piracicaba, 1979, 84 p.
- DONZELI, P.L. Comportamento espectral de três latossolos argilosos da região de Limeira - Araras - SP em relação às suas propriedades físicas e químicas. Tese de Doutorado, ESALQ, USP, Piracicaba, 1984. 135p.
- DOVERSPIKE, G.E.; FLYNN, F.M.; HELLER, R.C. Microdensitometer applied to land use classification. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 31(2): 294-306, 1965.
- DRISCOLL, R.S.; REPPERT, J.N.; HELLER, R.C. Microdensitometry to identify plant communities and components on color

infrared aerial photos. *Forestry Abstracts*, 35(9): 525, 1974.

EASTMAN KODAK COMPANY. *Practical Densitometry*. Rochester, 1972, 15p. (Kodak Technical Publication M-28).

EDWARDS, G.J. & BLAZQUEZ, C.H. Analysis of ACIR transparencies of citrus trees with a projecting spectral densitometer. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 51(1): 95-98, 1985.

EVERITT, J.H.; GERBERMANN, A.H.; ALANIZ, M.A.; BOWEN, R.L. Using 70-mm aerial photography to identify rangeland sites. *Forestry Abstracts*, 42(5): 187, 1981a.

EVERITT, J.H.; GERBERMANN, A.H.; ALANIZ, M.A. Microdensitometer to identify saline rangelands on 70-mm color infrared aerial film. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 47(9): 1357-1362, 1981b.

EVERITT, J.H.; RICHARDSON, A.J.; GERBERMANN, A.H. Identification of rangeland sites on small scale (1:120,000) color - infrared aerial photos. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 51(1): 89-93, 1985.

FULLER, S.P. & ROUSE, W.R. Spectral reflectance changes accompanying a post fire recovery sequence in a subarctic sereucelichen woodland. *Forestry Abstracts*, 40(11): 389, 1979.

GARCIA, G.J. Fotointerpretação comparativa de fotografias pancromáticas, coloridas e infravermelhas coloridas (falsa-cor). Tese de Doutorado, ESALQ/USP, Piracicaba, 1975, 111p.

- GARCIA, G.J. Sensoriamento remoto: princípios e interpretação de imagens. Nobel, São Paulo, 1982, 357p.
- GARCIA, G.J. & MARCHETTI, D.A.B. Fotointerpretação da vegetação através da densitometria. Anais da ESALQ, Piracicaba, 34: 275-279, 1977.
- GARCIA, G.J. & MINTZER, O. Utilização da razão espectral na interpretação de imagens de satélite. Científica, UNESP, 9(1): 33-36, 1981
- GAUSMAN, H.W. Evaluation of factors causing reflectance differences between sun and shade leaves. Forestry Abstracts, 45(7): 436, 1984.
- GAUSMANN, H.W.; ALLEN, W.A.; CARDENAS, R. Reflectance of cotton leaves and their structure. Remote Sensing of Environment, 1: 19-22, 1969a.
- GAUSMANN, H.W.; ALLEN, W.A.; MYERS, V.I.; CARDENAS, R.; LEAMER, R.W. Reflectance of single leaves and field plots of Cycocel-treated cotton (*Gossypium hirsutum* L.) in relation to leaf structure. Remote Sensing of Environment, 1: 103-107, 1969b.
- GAUSMAN, H.W.; CARDENAS, R.; GERBERMANN, A.H. Plant size, etc., and aerial films. Photogrammetric Engineering, Falls Church, 40(1): 61-67, 1974.
- GERBERMANN, H.H.; CUELLAR, J.A.; GAUSMANN, H.W. Relationship of *Sorghum* canopy variables to reflected infrared radiation for two wavelengths and two wavebands. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 50(2): 209-213, 1984.

- HELLER, R.C. Remote sensors for airborne and spaceborne imagery. *Forestry Abstracts*, 39(7): 286, 1978a.
- HELLER, R.C. Case applications of remote sensing vegetation damage assessment. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 44(9): 1159-1166, 1978b.
- HOLBEN, B.N.; TUCKER, C.J.; FAN, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area and leaf biomass. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 46(5): 651-656, 1980.
- JACKSON, R.D.; SLATER, P.N.; PINTER JR, P.J. Discrimination of growth and water stress in wheat by various vegetation indices through clear and turbid atmospheres. *Remote Sensing of Environment*, 13: 187 - 208, 1983.
- JORDAN, D.C.; GRAVES, D.H.; HAMMETER, M.C. Use of manual densiometry in land cover classification. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 44(8): 1053-1059, 1978.
- KADRO, A. Spectral reflectance properties of various vegetation types. *Forestry Abstracts*, 45(4): 192, 1984.
- KNIPLING, E.B. Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 1: 155-159, 1970.
- KOFFLER, N.F. Identificação da cultura da cana-de-açúcar (*Saccharum* spp) através de fotografias aéreas infravermelhas coloridas e dados multiespectrais do satélite Landsat. Tese de Doutorado, ESALQ/USP, Piracicaba, 1982, 234p.

- LEE, Y.J. & McKELVEY, R.W. Digitized small format aerial photography as a tool for measuring food consumption by trumpeter swans. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 50(2): 215-219, 1984.
- MACBETH COLOR & PHOTOMETRY DIVISION. Operator's manual for transmission densitometer, model TD-504. Kollmorgen Corporation, New York, 1973, 19p.
- MACLEAN, G.A. & MARTIN, G.L. Merchantable timber volume estimation using cross-sectional photogrammetric and densitometric methods. *Forestry Abstracts*, 46(6): 365, 1985.
- MARCHETTI, D.A.B. & GARCIA, G.J. Princípios de fotogrametria e fotointerpretação. Nobel, São Paulo, 1978, 257p.
- MURTHA, P.A. & HAMILTON, L.S. Detection of simulated damage on conifers using near infrared film. *Forestry Abstracts*, 31(3): 598, 1970.
- MURTHA, P.A. & KIPPEN, F.W. Fomes annosus infections centers are revealed, on false-color aerial photographs. *Forestry Abstracts*, 31(1): 139, 1970.
- NOVO, E.M.L. de M. Sensoriamento remoto: princípios e aplicações. Edgard Blücher, São Paulo, 1989, 308p.
- OLIVEIRA, J.B.; MENK, J.R.F.; BARBIERI, J.L.; ROTTA, C.L.; TREMOCOLDI, W. Levantamento pedológico semidetalhado do Estado de São Paulo: quadrícula de Araras. *Bol. Téc. Inst. Agrônômico* 71, Campinas, 1982, 180p.
- PIECH, K.R.; GAUCHER, D.W.; SCHOTT, J.R.; SMITH, P.G. Terrain classification using color imagery. *Forestry Abstracts*, 40(4): 113, 1979.

- RIB, H.T. Color measurements. In: Manual of color aerial photography. American Society of Photogrammetry, 1: 12-24, 1968.
- SCARPACE, F.L. Densitometry of multi-emulsion imagery. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 44(10): 1279-1292, 1978.
- SIEGAL, B.S. & GOETZ, A.F. Effect of vegetation on rock and soil type discrimination. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 43(2): 191-196, 1977.
- SMITH, D.V. Timber volume estimate using Kelsh plotter and densitometry. Forestry Abstracts, 31(1): 138, 1970.
- SMITH, D.V. Estimating timber volumes on aerial photos with densitometer readings. Forestry Abstracts, 32(1): 167, 1971.
- SPURR, S.H. Photogrammetry and photointerpretation. Ronald Press, New York, 1960, 472p.
- STEPHENS, P.R. Comparison of color, color infrared, and panchromatic aerial photography. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 42(10): 1273-1277, 1976.
- STORY, R. & YAPP, G.A. Variation in infra-red reflectance of *Eucalyptus radiata* DC. Forestry Abstracts, 33(4): 781, 1972.
- STRONG, L.L.; DANA, R.W.; CARPENTER, L.H. Estimating phytomass of sage brush habitat types from microdensitometer data. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Falls Church, 51(4): 467-474, 1985.

- TALERICO, R.L.; WALKER, J.E.; SKRATT, T.A. Quantifying gypsy moth defoliation. *Forestry Abstracts*, 41(1): 27, 1980.
- THOMPSON, D.R. & WEHMANEN, O.A. Using Landsat digital data to detect moisture stress. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 45(2): 201-207, 1979.
- THOMPSON, D.R. & WEHMANEN, O.A. Using Landsat digital data to detect moisture stress in corn-soybean growing regions. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 46(8): 1087-1093, 1980.
- YOU-CHING, F. Aerial photo and Landsat image use in forest inventory in China. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Falls Church, 46(11): 1421-1424, 1980.
- ZEL, D.W. van der. Present and future applications of satellite remote sensing in the forestry sector. *Forestry Abstracts*, 46(10): 694, 1985.