



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/06.11.20.08-TDI

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES BIOFÍSICAS DE DOSSÊIS DE *Eucalyptus* spp. MEDIANTE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Roberta Zecchini Cantinho

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Sensoria-
mento Remoto, orientada pelos
Drs. Flávio Jorge Ponzoni, e Yosio
Edemir Shimabukuro, aprovada em
25 de junho de 2012

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3C4E3UE>>

INPE
São José dos Campos
2012

PUBLICADO POR:

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

Gabinete do Diretor (GB)

Serviço de Informação e Documentação (SID)

Caixa Postal 515 - CEP 12.245-970

São José dos Campos - SP - Brasil

Tel.:(012) 3208-6923/6921

Fax: (012) 3208-6919

E-mail: pubtc@sid.inpe.br

CONSELHO DE EDITORAÇÃO E PRESERVAÇÃO DA PRODUÇÃO INTELLECTUAL DO INPE (RE/DIR-204):**Presidente:**

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

Membros:

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

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

Dr^a Regina Célia dos Santos Alvalá - Centro de Ciência do Sistema Terrestre (CST)

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

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

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

Dr. Horácio Hideki Yanasse - Centro de Tecnologias Especiais (CTE)

BIBLIOTECA DIGITAL:

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

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

Deicy Farabello - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPT)

REVISÃO E NORMALIZAÇÃO DOCUMENTÁRIA:

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

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

EDITORAÇÃO ELETRÔNICA:

Vivêca Sant'Ana Lemos - Serviço de Informação e Documentação (SID)



Ministério da
**Ciência, Tecnologia
e Inovação**



sid.inpe.br/mtc-m19/2012/06.11.20.08-TDI

AVALIAÇÃO DE PROPRIEDADES BIOFÍSICAS DE DOSSÉIS DE *Eucalyptus* spp. MEDIANTE APLICAÇÃO DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

Roberta Zecchini Cantinho

Dissertação de Mestrado do Curso
de Pós-Graduação em Sensoria-
mento Remoto, orientada pelos
Drs. Flávio Jorge Ponzoni, e Yosio
Edemir Shimabukuro, aprovada em
25 de junho de 2012

URL do documento original:

<<http://urlib.net/8JMKD3MGP7W/3C4E3UE>>

INPE
São José dos Campos
2012

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

C168a Cantinho, Roberta Zecchini.
Avaliação de propriedades biofísicas de dosséis de *Eucalyptus* spp. mediante aplicação de técnicas de sensoriamento remoto / Roberta Zecchini Cantinho. – São José dos Campos : INPE, 2012.
xxiv + 105 p. ; (sid.inpe.br/mtc-m19/2012/06.11.20.08-TDI)

Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

Orientadores : Drs. Flávio Jorge Ponzoni, e Yosio Edemir Shimabukuro.

1. fotografias hemisféricas. 2. LAI-2000. 3. MODIS/Terra.
4. Vegetation-2/SPOT. 5. IAF. I.Título.

CDU 528.8.04(815.2)

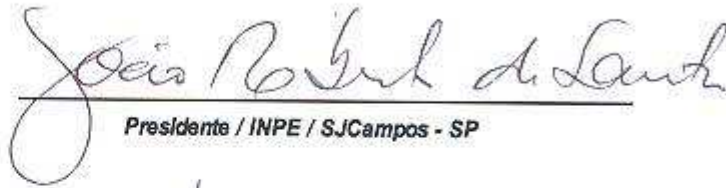
Copyright © 2012 do MCT/INPE. Nenhuma parte desta publicação pode ser reproduzida, armazenada em um sistema de recuperação, ou transmitida sob qualquer forma ou por qualquer meio, eletrônico, mecânico, fotográfico, reprográfico, de microfilmagem ou outros, sem a permissão escrita do INPE, com exceção de qualquer material fornecido especificamente com o propósito de ser entrado e executado num sistema computacional, para o uso exclusivo do leitor da obra.

Copyright © 2012 by MCT/INPE. No part of this publication may be reproduced, stored in a retrieval system, or transmitted in any form or by any means, electronic, mechanical, photocopying, recording, microfilming, or otherwise, without written permission from INPE, with the exception of any material supplied specifically for the purpose of being entered and executed on a computer system, for exclusive use of the reader of the work.

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

Sensoriamento Remoto

Dr. João Roberto dos Santos


Presidente / INPE / SJCampos - SP

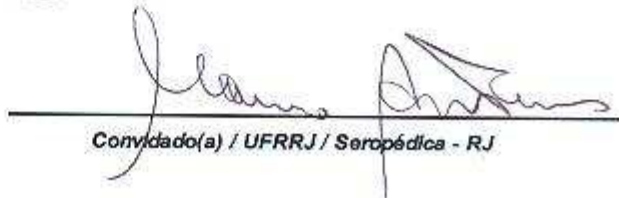
Dr. Flávio Jorge Ponzoni


Orientador(a) / INPE / SJCampos - SP

Dr. Yosio Edemir Shimabukuro


Orientador(a) / INPE / São José dos Campos - SP

Dr. Mauro Antonio Homem Antunes


Convidado(a) / UFRRJ / Seropédica - RJ

Dr. Luis Marcelo Tavares de Carvalho


Convidado(a) / UFLA / Lavras - MG

Este trabalho foi aprovado por:

() maioria simples

☒ unanimidade

Aluno (a): **Roberta Zecchini Cantinho**

São José dos Campos, 25 de Junho de 2012

“Só uma coisa torna um sonho impossível: o medo de fracassar.”

Paulo Coelho

A meu avô paterno, Hugo Roberto Cavalcanti Cesar Cantinho, por acreditar, incentivar, apoiar, valorizar e se orgulhar de cada pequena conquista minha.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus, que sempre me acompanhou e me confortou.

À minha família, pela paciência, pelo carinho e incentivo.

Em especial à amiga Sandra, por sua ajuda e companheirismo. Minha eterna gratidão.

Ao meu orientador pelo apoio quase paterno.

À empresa FIBRIA e sua equipe pela disponibilidade, assistência e dedicação durante as coletas de dados.

Ao CNPq pelo apoio financeiro durante os anos de pesquisa.

RESUMO

A maioria dos processos envolvidos com o crescimento das plantas ocorre nas porções do dossel florestal e, como suas características apresentam grande variabilidade espacial e temporal, são utilizadas variáveis como o Índice de Área Foliar (IAF) para facilitar o acesso a informações relacionadas à estrutura das copas. O IAF é uma variável biofísica que apresenta estreita relação com a produtividade de uma comunidade vegetal. Geralmente, sua determinação é feita mediante a aplicação de métodos indiretos que, por não distinguirem os tecidos fotossinteticamente ativos de outros componentes do dossel, como galhos, ramos e troncos, adota-se a expressão Índice de Área de Vegetação (IAV) para referir-se à estimativa obtida por estas metodologias. Com o objetivo de avaliar o desempenho de técnicas indiretas baseadas em sensoriamento remoto, foi aplicado o método destrutivo para o cálculo do IAF e foram obtidas estimativas de IAV com o equipamento LAI-2000 e a partir do processamento de fotografias hemisféricas. A coleta de dados foi feita em 36 parcelas distribuídas em plantios de *Eucalyptus* spp. de propriedade da empresa Fibria/SA, localizados nas proximidades dos municípios de Aracruz e São Mateus, no Estado do Espírito Santo. Procurando explorar diferenças fenológicas atuantes sobre os valores das variáveis biofísicas, as análises foram realizadas em duas épocas do ano, uma representativa do período chuvoso e outra do período seco. As estimativas de IAF efetuadas a partir do método destrutivo, em termos absolutos, foram superiores às de IAV calculadas a partir dos métodos indiretos, o que possivelmente está atrelado ao fato dos modelos aplicados nas técnicas indiretas assumirem uma distribuição aleatória do dossel. Ainda assim, ambas as técnicas indiretas foram sensíveis às variações do IAF constatadas pelo método destrutivo entre as duas estações. A aderência entre os valores de IAF calculados pelo método destrutivo e as estimativas de IAV obtidas pelos métodos indiretos (LAI-2000 e fotografias hemisféricas) foi maior durante o período chuvoso, levando a concluir que o potencial destas técnicas diminui em função do maior espaçamento entre as copas ocasionado pela queda das folhas durante a estação seca. Ao avaliar a relação entre as estimativas de IAV obtidas com o LAI-2000 e com as fotografias hemisféricas, essas foram consistentes e apresentaram alto grau de aderência, para ambos os períodos climáticos. Índices de Vegetação (NDVI, SAVI, EVI e NDWI) calculados a partir de produtos do sensor MODIS do satélite Terra e do sensor Vegetation-2 do satélite SPOT-5 com datas de passagem próximas às de coleta de dados em campo, apesar de terem sido sensíveis de uma maneira geral às variações do dossel entre os dois períodos climáticos, não apresentaram relações significativas com os dados biofísicos dos eucaliptais avaliados.

EVALUATION OF BIOPHYSICAL PROPERTIES OF *Eucalyptus* spp. CANOPIES USING REMOTE SENSING TECHNIQUES

ABSTRACT

Most of the processes involved with plant growth occurs in the portions of forest canopy and variables as the Leaf Area Index (LAI) are used to facilitate access to information related to canopy structure. LAI is a biophysical variable that is closely related to the productivity of a plant community. Generally, its determination is made by applying indirect methods that for not distinguishing the photosynthetically active tissues of other components of the canopy, such as twigs, branches and trunks, it's used the expression Vegetation Area Index (VAI) to refer the estimate obtained by these methods. In order to evaluate the performance of some of the indirect techniques developed the destructive method was applied to calculate LAI and VAI estimates were obtained with the LAI-2000 and from the processing of hemispherical photographs. The 36 plots were distributed in *Eucalyptus* spp. plantations of company-owned Fibria/SA, located near the municipalities of Aracruz and São Mateus in Espírito Santo State. Data collection was conducted in two seasons, trying to exploit phenological differences reflecting on the values of biophysical variables. Estimates of LAI from destructive method, in absolute terms, were higher than those of VAI calculated from indirect methods, which is possibly linked to the fact that the models used in indirect techniques assume a random distribution of the canopy. Both indirect techniques were sensitive to variations of LAI detected by the destructive method between the two stations. The adherence between the estimates of LAI and VAI were stronger during the rainy season, leading to the conclusion that the potential of these techniques decreases function of the larger spacing between the crowns caused by falling leaves during the dry season. When considering the relationship between the VAI estimates obtained with the LAI-2000 and the hemispherical photographs, these were consistent and showed a high degree of adherence to both climatic periods. Vegetation indices (NDVI, SAVI, EVI and NDWI) calculated from the products of the MODIS sensor of Terra satellite and Vegetation-2 sensor of SPOT-5 satellite with passage near the dates of data collection, despite being sensitive to changes in the canopy between the two periods, showed no significant relation with biophysical data.

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
Figura 2.1. Ângulos de visada e arranjo dos cinco detectores do LAI-2000.....	11
Figura 2.2. Visão equi-angular das fotografias hemisféricas, representadas pelos ângulos em zênite (Θ) e em azimute (α) (a) e imagem hemisférica pré-processada de uma floresta tropical na Costa Rica (b).	14
Figura 2.3. Imagens hemisféricas classificadas de plantios de eucalipto mostrando as divisões de <i>Skymap</i> em vermelho (a) e de <i>Sunmap</i> em verde (b) do aplicativo HemiView.....	16
Figura 2.4. Exemplos de obtenção de medida de abertura ou densidade do dossel (a) e de cobertura florestal (b).	18
Figura 3.1. Localização geográfica das regiões da Unidade Florestal Aracruz no Estado do Espírito Santo (em verde).....	27
Figura 3.2. Distribuição dos talhões avaliados nas regiões Aracruz e São Mateus.....	28
Figura 3.3. Precipitação e temperatura mensais médias da região Aracruz.	30
Figura 3.4. Precipitação e temperatura mensais médias da região São Mateus.	30
Figura 3.5. Fluxograma do procedimento metodológico nos dois períodos avaliados. .	32
Figura 3.6. Medição do CAP com a trena (a), da altura das árvores com o Vertex IV (b) e dos diâmetros da copa com o auxílio da trena e do clinômetro (c).	34
Figura 3.7. Derrubada da árvore (a), mensuração da altura total (b), desfolhamento na lona (c) e pesagem das folhas úmidas (d).	35
Figura 3.8. Aparelho de planimetria óptica LI-3100.....	36
Figura 3.9. Medição com o LAI-2000 no interior dos dosséis (a) e detalhe do aparelho e da capa com ângulo de abertura de 45° utilizada durante a aquisição das medidas (b).	38
Figura 3.10. Esquema de circuito triangular de amostragem para a tomada das fotografias hemisféricas.	38
Figura 3.11. Tripé utilizado para a tomada das fotografias (a) e detalhe da plataforma com os materiais utilizados durante o processo (b).	39

Figura 3.12. Fotografia hemisférica com clareira e condições atmosféricas não propícias (a) e sua classificação errônea em função principalmente da presença de nuvens (b).....	41
Figura 3.13. Formato do circuito em triângulo percorrido com o densitômetro.	41
Figura 3.14. Composição colorida falsa-cor RGB (bandas 1, 2, 3) do produto MOD13Q1 de 14 de Setembro de 2011, com resolução espacial de 250 m, destacando os talhões avaliados na região Aracruz em vermelho.	44
Figura 3.15. Composição colorida falsa-cor RGB (bandas 1, 2, 3) do produto S-10 de 01 de Abril de 2011 do sensor VGT/SPOT, com resolução espacial de 1 km, destacando os talhões avaliados na região São Mateus em vermelho.....	46
Figura 3.16. Desvio dos dados observados Y_i em torno de uma linha de regressão ajustada, em que os valores preditos referem-se à $\hat{Y}_i$	48
Figura 4.1. Variação dos parâmetros dendrométricos em função da idade: Diâmetro à altura do peito (DAP) (a), altura total (H) (b), altura do tronco (Ht) (c), altura da copa (Hc) (d), área da elipse da copa (Ac) (e) e volume da copa (Vc) (f).....	52
Figura 4.2. Fotografias hemisféricas e valores estimados de IAF e IAV do clone G44X641/2 aos 35 meses no período chuvoso (a) e aos 36 meses no período seco (b).....	55
Figura 4.3. Valores médios de IAF e IAV das parcelas das diferentes regiões.....	56
Figura 4.4. Valores de IAF e IAV de clones de <i>E. grandis</i> de 22 meses localizados em diferentes regiões.....	56
Figura 4.5. Fotografias hemisféricas tomadas durante o período chuvoso dos plantios de <i>E. grandis</i> com 22 meses na região Aracruz (a) e na região São Mateus (b).	57
Figura 4.6. Comportamento do IAF e do IAV ao longo do ciclo produtivo dos plantios de clones de eucalipto G44X227/1 no período chuvoso e no período seco nas regiões Aracruz e São Mateus.....	59
Figura 4.7. Comportamento do IAF e do IAV ao longo do ciclo produtivo dos plantios de clones de eucalipto G44X641/2 no período chuvoso e no período seco nas regiões Aracruz e São Mateus.....	60
Figura 4.8. Comportamento do IAF e do IAV ao longo do ciclo produtivo dos plantios de clones de <i>E. grandis</i> no período chuvoso e no período seco nas regiões Aracruz e São Mateus.	61

Figura 4.9. Fotografias hemisféricas de eucaliptais do clone G44X227/1 tomadas durante o período chuvoso aos 31 (a) e aos 48 meses (b).	62
Figura 4.10. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e do LAI-2000 (IAV) no período chuvoso.....	65
Figura 4.11. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e das fotografias hemisféricas (IAV) no período chuvoso.	66
Figura 4.12. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e do LAI-2000 (IAV) no período seco.	66
Figura 4.13. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e das fotografias hemisféricas (IAV) no período seco.....	67
Figura 4.14. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores de IAV obtidos a partir das fotografias hemisféricas e do LAI-2000 no período chuvoso.....	68
Figura 4.15. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir das fotografias hemisféricas e do LAI-2000 no período seco.	68
Figura 4.16. Valores médios de D e C das parcelas localizadas nas regiões Aracruz e São Mateus nos dois períodos climáticos.....	69
Figura 4.17. Comportamento espectral dos talhões com base nos FRB extraídos dos produtos MOD13Q1 de 22 de março de 2011 e 14 de setembro de 2011. 73	
Figura 4.18. Comportamento espectral dos talhões com base nos FRB extraídos dos produtos MOD09A1 de 30 de março de 2011 e 22 de setembro de 2011. 73	
Figura 4.19. Comportamento espectral de todos os talhões com base nos fatores de reflectância extraídos dos produtos S10 nas duas estações climáticas.....	73
Figura 4.20. Comportamento espectral do mesmo clone instalado na região Aracruz no período chuvoso e no período seco com base nos valores MOD13Q1 e MOD09A1.....	74
Figura 4.21. Comportamento espectral do mesmo clone instalado na região Aracruz durante o período chuvoso e o período seco com base nos valores S10 do VGT/SPOT.....	74

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
Tabela 2.1. Características das bandas 1 a 7 do sensor MODIS/Terra.....	22
Tabela 2.2. Características do sensor Vegetation-2 a bordo do satélite SPOT-5.....	25
Tabela 3.1. Descrição dos talhões avaliados na região Aracruz.....	29
Tabela 3.2. Descrição dos talhões avaliados na região São Mateus.....	29
Tabela 3.3. Características pedológicas dos talhões avaliados.....	31
Tabela 3.4. Configurações definidas para o local da parcela 01 no software HemiView.	40
Tabela 3.5. Especificações dos produtos MODIS adquiridos.	42
Tabela 3.6. Combinação dos dois primeiros bits selecionados, valores dos pixels e suas interpretações quanto ao QA (<i>Quality Assurance</i>) dos produtos MODIS utilizados.	43
Tabela 3.7. Valores específicos por produto MODIS para transformação dos valores digitais dos pixels em valores analíticos.	44
Tabela 3.8. Combinação dos dois primeiros bits selecionados, valores dos pixels e suas interpretações quanto ao <i>Status Map</i> (SM) dos produtos VGT-S10.....	45
Tabela 3.9. Valores específicos dos produtos VGT-S10 para transformação dos valores digitais dos pixels em valores analíticos.	46
Tabela 4.1. Médias dos parâmetros dendrométricos de plantios de mesmo material genético (<i>E. grandis</i>) e idade (22 meses) em mesma condição de manejo (rebrotas), localizados em diferentes regiões: Aracruz e São Mateus.	53
Tabela 4.2. Valores das médias totais de IAF (método destrutivo) e IAV (LAI-2000 e fotografias hemisféricas) para as duas épocas climáticas.	55
Tabela 4.3. Testes estatísticos comparativos entre os valores de C e D e IAF e IAV calculados com base nos dados coletados no período chuvoso.	71
Tabela 4.4. Testes estatísticos comparativos entre os valores de C e D e IAF e IAV calculados com base nos dados coletados durante o período seco.....	71
Tabela 4.5. Valores médios dos IV calculados a partir dos produtos MOD13Q1 para os dois períodos climáticos.	76

Tabela 4.6. Valores médios dos IV extraídos e calculados a partir dos produtos MOD13Q1 (NDVI ₅₀₀ , SAVI ₅₀₀ , EVI ₅₀₀ e NDWI ₅₀₀), MOD15A2 (IAF _{MOD} e fAPAR) e MOD17A2 (GPP) para os dois períodos climáticos.	76
Tabela 4.7. Valores médios dos índices de vegetação calculados para os dois períodos climáticos a partir dos produtos S10.	76
Tabela 4.8. Comparações dos valores de NDVI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.	78
Tabela 4.9. Comparações dos valores de SAVI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.	79
Tabela 4.10. Comparações dos valores de EVI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.	79
Tabela 4.11. Comparações dos valores de NDWI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.	79
Tabela 4.12. Comparações dos valores de IAF _{MOD} , fAPAR e GPP obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.	80

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

Ac	Área da copa
AFE	Área Foliar Específica
ANOVA	Análise de Variância
C	Cobertura florestal
CAP	Circunferência à Altura do Peito
D	Densidade do Dossel
DAP	Diâmetro à Altura do Peito
DAF	Distribuição Angular das Folhas
Dc	Diâmetro da Copa
EVI	<i>Enhanced Vegetation Index</i>
fAPAR	<i>Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation</i>
FRB	Fator de Reflectância Bidirecional
GPP	<i>Gross Primary Production</i>
H	Altura total
Hc	Altura da Copa
Ht	Altura do Tronco
IAF	Índice de Área Foliar
IAV	Índice de Área de Vegetação
IV	Índice de Vegetação
IVM	Infravermelho Médio
IVP	Infravermelho Próximo
LAI	<i>Leaf Area Index</i>
MODIS	<i>Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer</i>
MRLS	Modelos de Regressão Linear Simples
MRT	<i>MODIS Reprojection Tools</i>
NASA	<i>National Aeronautics and Space Administration</i>
NDVI	<i>Normalized Difference Vegetation Index</i>
NDWI	<i>Normalized Difference Water Index</i>
QA	<i>Quality Assessment</i>

REM	Radiação Eletromagnética
SAVI	<i>Soil Adjusted Vegetation Index</i>
SPOT	<i>Système Pour l'Observation de la Terre</i>
TRAC	<i>Tracing Radiation and Architecture of Canopies</i>
VAI	<i>Vegetation Area Index</i>
Vc	Volume da Copa
VGT	Vegetation-2

SUMÁRIO

		<u>Pág.</u>
1	INTRODUÇÃO	1
1.1.	Hipótese.....	3
1.2.	Objetivo geral	3
1.3.	Objetivos específicos.....	3
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1.	Caracterização estrutural de dosséis de eucalipto	5
2.2.	Métodos diretos para o cálculo do IAF	7
2.3.	Métodos indiretos para a estimativa do IAF	8
2.3.1.	LAI-2000 Plant Canopy Analyser.....	11
2.3.2.	Fotografias hemisféricas	13
2.3.3.	Satélites	18
2.3.3.1.	Sensor MODIS	21
2.3.3.2.	Sensor Vegetation	24
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1.	Área de estudo	27
3.2.	Procedimento metodológico.....	32
3.3.	Dados de campo	32
3.3.1.	Medições dendrométricas.....	33
3.3.2.	Cálculo do IAF a partir da amostragem destrutiva	34
3.3.3.	Medida do IAV com o LAI-2000.....	37
3.3.4.	Cálculo do IAV e da densidade do dossel a partir de fotografias hemisféricas.....	38
3.3.5.	Cálculo da cobertura florestal com auxílio do densitômetro vertical.....	41

3.4.	Produtos MODIS	42
3.5.	Produtos VGT	45
3.6.	Análise estatística	47
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	51
4.1.	Avaliação dos parâmetros dendrométricos medidos no inventário florestal	51
4.2.	Análise dos valores de IAF e IAV estimados a partir das diferentes técnicas	54
4.3.	Avaliação dos resultados de cobertura florestal (C) e densidade do dossel (D)	69
4.4.	Caracterização dos eucaliptais a partir dos valores extraídos dos produtos orbitais MODIS/Terra e VGT/SPOT	71
5	CONCLUSÕES	81
APÊNDICE A – MÉDIAS DOS DADOS DENDROMÉTRICOS CO ETADOS DURANTE O PERÍODO CHUVOSO		93
APÊNDICE B – MÉDIAS DOS DADOS DENDROMÉTRICOS COLETADOS DURANTE O PERÍODO SECO		95
APÊNDICE C – VALORES DE IAF E IAV CALCULADOS PARA CADA PARCELA NOS DOIS PERÍODOS.....		97
APÊNDICE D – VALORES DE D E C CALCULADOS PARA CADA PARCELA NOS DOIS PERÍODOS CLIMÁTICOS.....		99
APÊNDICE E – VALORES DE FRB E IV EXTRAÍDOS E CALCULADOS A PARTIR DOS PRODUTOS MOD13Q1, MOD09A1, MOD15A2 E MOD17A2 NOS DOIS PERÍODOS CLIMÁTICOS		101
APÊNDICE F – VALORES DE FRB E IV EXTRAÍDOS E CALCULADOS A PARTIR DOS PRODUTOS S10 DO VGT/SPOT.....		105

1 INTRODUÇÃO

O aumento da demanda por plantações florestais e a busca pelo incremento da produtividade levaram à necessidade do conhecimento da ecofisiologia das espécies e da limitação dos recursos naturais durante seu crescimento. A ecofisiologia aborda os processos e respostas vitais das plantas em função das mudanças nas condições ambientais (LARCHER, 2006). Fatores climáticos como a radiação solar, a disponibilidade hídrica e a temperatura do ar influenciam direta ou indiretamente os processos fisiológicos e bioquímicos, como a fotossíntese, a transpiração, a respiração e a divisão celular (MAESTRI, 2003; SOUZA et al., 2006). Segundo Lowman e Nadkarni (1995), a grande maioria destes processos ocorre no dossel florestal e está envolvida com o crescimento e com o desenvolvimento das plantas. Desta forma, a caracterização estrutural da copa das árvores e o modo como a radiação solar é interceptada e sintetizada pelo dossel é de grande importância para estudos ecofisiológicos, pois atuam diretamente sobre as funções que controlam a produtividade (CAMPBELL; NORMAN, 1989; CAMPOE, 2008).

A avaliação do desenvolvimento do dossel e de sua atividade fisiológica pode ser realizada através da medição da quantidade de radiação solar atenuada pelas suas folhas e sua eficiência de uso na forma de produção de biomassa florestal (CHAVES et. al, 2007; ROSS, 1981). O Índice de Área Foliar (IAF) é uma variável que apresenta estreita relação com essa produtividade, pois representa a capacidade da planta em explorar o espaço ambiental disponível (GOWER et al., 1999; LANG; MCMURTRIE, 1992). De acordo com Bréda (2003), o IAF pode ser considerado um elemento-chave na compreensão da dinâmica da vegetação em ecossistemas terrestres.

Geralmente, os métodos utilizados para a determinação deste índice são indiretos devido às suas vantagens operacionais em relação ao método direto que, apesar de mais preciso, é mais trabalhoso e custoso (CARUZZO; ROCHA, 2000; CHAVES et al., 2007). Os instrumentos e técnicas desenvolvidos para a obtenção indireta do IAF são rápidos e fáceis na coleta de dados (CHAVES et al., 2007). Por não distinguirem os tecidos fotossinteticamente ativos de outros componentes do dossel, como galhos, ramos e troncos, adota-se a expressão Índice de Área de Vegetação (IAV) para referir-se à estimativa obtida por equipamentos como o LAI-2000 e as câmaras fotográficas

acopladas a lentes hemisféricas (BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004). Esses analisadores obtêm as estimativas indiretas por comparação diferencial entre a radiação abaixo e acima do dossel. Neste sentido, o IAF se vê relacionado a outros importantes parâmetros, como a Fração da Radiação Fotossinteticamente Ativa Absorvida (fAPAR), definida como a fração de radiação solar disponível para o processo fotossintético que é efetivamente absorvida pelo dossel florestal (DYE; GOWARD, 1993), a cobertura florestal, referente à proporção da superfície da floresta coberta pela projeção vertical das copas das árvores (JENNINGS, 1999), a densidade do dossel, que representa a proporção de hemisfério do céu obscurecida pela vegetação quando vista de um ponto único (CHEN et al., 1997; JENNINGS, 1999) e a produtividade primária bruta, referente ao total de matéria orgânica produzida durante certo tempo por um ecossistema (ROSS, 1981).

Muitos parâmetros biofísicos, principalmente o IAF, são utilizados como parâmetro de entrada em modelos relacionados à evapotranspiração (SOARES et al., 1997), à simulação dos ciclos de carbono e de água (LANDSBERG; WARING, 1997; WANG; JARVIS, 1990), à produtividade florestal (RODRÍGUEZ et al., 2009; STAPE et al., 2004; VARGAS et al., 2002) ou até mesmo naqueles baseados na teoria da transferência radiativa que buscam descrever o comportamento da radiação no interior do dossel (CAMPOS, 2008). A necessidade de determinação dessas variáveis com precisão e rapidez em áreas florestais de grande extensão induziu a investigações que analisassem a possibilidade de utilização de dados obtidos a partir de sensores orbitais. Muitos trabalhos avaliaram a relação entre as propriedades biofísicas e fatores de reflectância bidirecionais (FRB) e/ou índices de vegetação (IV) (MYNENI et al., 1995; MYNENI et al., 2002; OLIVEIRA et al., 2009; PAIVA et al., 2009). Quando os dados são adequados, os resultados destes estudos são promissores e as estimativas em grandes escalas espaciais e temporais das imagens de satélite permitem comparar padrões sazonais para variações inter-anuais da vegetação a custos relativamente baixos (HEINSCH et al., 2006; PAIVA et al., 2009).

1.1. Hipótese

- ✓ Estimativas de parâmetros biofísicos de dosséis de *Eucalyptus* spp. obtidas mediante técnicas de sensoriamento remoto em nível terrestre apresentam aderência àquelas calculadas por métodos destrutivos;
- ✓ Dados adquiridos a partir dos sensores ópticos MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*) do satélite Terra (MODIS/Terra) e Vegetation-2 do satélite SPOT-5 (VGT/SPOT) apresentam aderência aos dados biofísicos estimados em nível terrestre.

1.2. Objetivo geral

Avaliar o desempenho de metodologias baseadas em sensoriamento remoto em dois níveis de coleta de dados na estimativa de parâmetros biofísicos de plantios de eucalipto.

1.3. Objetivos específicos

- ✓ Avaliar a aderência entre as estimativas de IAF obtidas pelo método destrutivo e os valores de IAV estimados pelo emprego de técnicas indiretas;
- ✓ Verificar o comportamento das variáveis cobertura florestal (C) e densidade do dossel (D) com relação aos valores de IAF calculados pelo método destrutivo e das estimativas de IAV obtidas através dos métodos indiretos;
- ✓ Averiguar a relação empírica existente entre os dados orbitais MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados estimados em nível terrestre (IAF, IAV, D e C).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O setor florestal começou a se destacar no Brasil após o programa de incentivo fiscal lançado pelo Governo Federal em meados de 1966, o qual tinha como objetivo atender à crescente demanda de madeira nos processos industriais das regiões Sul e Sudeste do país. De fato, todas as sociedades estão vinculadas à utilização de produtos oriundos das florestas, como madeira, celulose, carvão vegetal, óleos, medicamentos e energia, o que contribuiu significativamente para a exploração das florestas nativas (SCOLFORO, 2008). Neste contexto, as florestas plantadas desempenham um papel cada vez mais importante como fonte alternativa de matéria-prima para a indústria florestal e representam uma forma de aproveitar áreas já desmatadas e diminuir a pressão exercida sobre os remanescentes florestais (SOARES, 2006).

Atualmente, a principal opção para o reflorestamento é o gênero *Eucalyptus*, em virtude de seu crescimento acelerado, vigor e adaptação a diferentes habitats (FORRESTER et al., 2010). Ocupando uma área de mais de 19 milhões de hectares em todo o planeta (FORRESTER et al., 2010), podem ser encontradas mais de 670 espécies com tamanhos e aspectos diferenciados (SCOLFORO, 2008). As florestas de eucalipto plantadas pelo setor de celulose e papel do Brasil são as mais produtivas do mundo (BRACELPA, 2008) e, para garantir a conservação do meio ambiente e a eficiência da atuação das empresas no mercado florestal, essas plantações estão associadas a manejos adequados, sendo essencial o conhecimento de seus parâmetros biofísicos para o controle do desenvolvimento e da vitalidade das árvores (PACHECO, 2010; PAIVA et al., 2009).

2.1. Caracterização estrutural de dosséis de eucalipto

A caracterização estrutural do dossel é fundamental para o entendimento dos processos que regem o desenvolvimento florestal, já que influenciam significativamente as interações planta-ambiente (NORMAN; CAMPBELL, 1992). Segundo Ross (1981) e Xavier et al. (2002), a arquitetura do dossel florestal é caracterizada pela posição, orientação, tamanho e forma de seus elementos constituintes como folhas, galhos, troncos, flores e frutos. Em plantios florestais, a distribuição espacial dos elementos é dependente de características relacionadas à maneira como as sementes foram

plantadas, do tipo de vegetação e do estágio de desenvolvimento destas plantas (NORMAN; WELLES, 1983).

As descrições quantitativas dessas características geométricas das copas são complexas devido à sua grande variabilidade espacial (horizontal e vertical) e temporal (sazonalmente e idade) (WEISS et al., 2003). Sendo assim, para facilitar o acesso a informações relacionadas à estrutura do dossel, geralmente são utilizadas variáveis como o Índice de Área Foliar (IAF, ou LAI *Leaf Area Index*), que constitui um dos principais parâmetros biofísicos e estruturais da vegetação (NORMAN; CAMPBELL, 1992). Essa variável é inclusive utilizada como parâmetro de entrada em modelos de transferência radiativa que buscam descrever o complexo processo da transferência de radiação no interior de dosséis de plantas (CAMPOS, 2008). De acordo com Larcher (2006), o IAF é o total de área constituída por uma das faces do tecido fotossintético por unidade de superfície projetada no solo, sendo, portanto, uma variável adimensional.

O IAF representa a interface ativa entre o ecossistema e a atmosfera, assim, alterações deste índice ocasionadas por doenças, pragas, tempestades, secas ou práticas de manejo acarretam em modificações na produtividade do povoamento, destacando a influência deste atributo nos processos de fotossíntese, interceptação da precipitação e evapotranspiração (BRÉDA, 2003; XAVIER et al., 2002). Devido a essa profunda relação com os processos relacionados ao crescimento e desenvolvimento das plantas, o IAF é utilizado em um grande número de modelos ecofisiológicos que simulam os ciclos de carbono e da água e a produtividade florestal (LANDSBERG; WARING, 1997; RODRÍGUEZ et al., 2009; STAPE et al., 2004; VARGAS et al., 2002; WANG; JARVIS, 1990). Xavier et al. (2002) ainda ressaltam a importância de quantificar a variação do IAF ao longo do ciclo produtivo dos plantios de eucalipto, já que o índice pode se alterar em função da espécie e da idade do povoamento, bem como da época do ano.

Diversos trabalhos utilizaram o IAF com o intuito de estudar a ecofisiologia de plantios de eucalipto (ALMEIDA; SOARES, 2003; DOVEY; DU TOIT, 2006; PAIVA et al., 2009; MACFARLANE et al., 2007a; XAVIER et al., 2002). Estes estudos têm abordado duas classes de metodologia: (i) métodos diretos, que são mais trabalhosos por demandarem a coleta de amostras de folhas e (ii) métodos indiretos, que envolvem a

avaliação do comportamento da radiação no dossel, sendo amplamente utilizados em florestas devido à dificuldade de acesso às copas (BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004; MACFARLANE et al., 2007b).

2.2. Métodos diretos para o cálculo do IAF

Os métodos diretos consistem na obtenção da medida de interesse (área das folhas) e, como consequência, são frequentemente utilizados como referência para a calibração ou avaliação de métodos indiretos usados na estimativa do IAF (BRÉDA, 2003). Esse processo envolve a coleta de folhas e técnicas de determinação da área dessas folhas. A coleta de folhas pode ser realizada de forma destrutiva por meio da remoção das folhas de uma parcela de amostragem ou pelo método da “árvore modelo”. Já uma maneira não destrutiva pode ser feita utilizando-se coletores de serrapilheira (JONCKHEERE et al., 2004).

O método da “árvore modelo” consiste da amostragem de uma pequena quantidade de árvores representativas fora do povoamento. Em talhões de uma mesma idade, que normalmente tem uma distribuição normal, a amostragem de três ou cinco indivíduos pode ser suficiente (JONCKHEERE et al., 2004). A extrapolação da área foliar pode então ser feita por meio de equações alométricas, etapa a qual alguns autores classificam como um método indireto com contato (JONCKHEERE et al., 2004; ZHENG; MOSKAL, 2009). Essa é uma metodologia menos destrutiva, que relaciona variáveis dendrométricas com a área foliar (BRÉDA, 2003). Altas relações foram encontradas entre a área de alburno e a área foliar (GOWER; NORMAN, 1991; SMITH et al., 1991), a área basal e a área foliar (BARTELINK, 1997) e entre o DAP e a área foliar (LE DANTEC et al., 2000). No entanto, Jonckheere et al. (2004) ressaltam que essas relações são específicas ao povoamento e dependentes da estação do ano, da fertilidade do solo (como nutrição e disponibilidade de água), do clima local e da estrutura do dossel (influenciada pela idade, densidade do povoamento, tamanho da árvore e manejo florestal). Essa técnica foi abordada por Dovey e du Toit (2006), Le Dantec et al., (2000), Macfarlane et al. (2007b) e Vertessy et al. (1995).

A mensuração da área foliar, segundo Daughtry (1990), pode ser determinada pelo método planimétrico - baseado no princípio da relação entre a área foliar individual e a

quantidade de área coberta por esta área foliar individual em um plano horizontal - ou pelo método gravimétrico – que correlaciona a massa seca e a área das folhas usando uma razão pré-determinada.

Bréda (2003) descreve o método gravimétrico e afirma que a área foliar pode ser obtida utilizando um medidor de área foliar, como o LI 3100 (LI-COR, NE, EUA). Esta área foliar é medida a partir de uma sub-amostra de folhas e relacionada com sua massa seca (cm^2 de folha / g massa seca), obtendo-se o que Larcher (2006) nomeia de Área Foliar Específica (AFE). Jonckheere et al. (2004) ressaltam a importância da sub-amostra incluir folhas de sol e de sombra para que a amostra e, conseqüentemente, o dossel, sejam representados adequadamente. Sabendo-se a massa úmida total das folhas da amostra de onde foi retirada a sub-amostra, sua massa seca total é calculada a partir da relação massa seca/massa úmida da sub-amostra. Finalmente, a massa seca total de folhas coletadas dentro de uma superfície de solo conhecida pode ser convertida em IAF, multiplicando-a pela AFE (BRÉDA, 2003).

Apesar da precisão do método direto, esse é um processo extremamente trabalhoso e demanda muito tempo em sua execução (JONCKHEERE et al., 2004). Desta maneira, muitos trabalhos vêm desfrutando dos métodos indiretos para estimar o IAF (XAVIER et al., 2002; MACFARLANE et al., 2007c).

2.3. Métodos indiretos para a estimativa do IAF

As ferramentas e técnicas desenvolvidas para estimar o IAF indiretamente não são destrutivas e são mais rápidas e fáceis quanto à coleta de dados (BRÉDA, 2003). A aquisição de informações utilizando sensores terrestres, aéreos ou orbitais possibilita fazer estimativas em diferentes escalas espaciais (ZHENG; MOSKAL, 2009).

Os métodos ópticos terrestres não tem contato direto com o objeto de análise e inferem sobre o IAF a partir de medições da radiação transmitida abaixo do dossel, fazendo uso da teoria da transferência radiativa (ROSS, 1981). Segundo Monsi e Saeki (2005), esses métodos aplicam a lei de Lambert-Beer, levando em consideração que a quantidade total de radiação interceptada pelos estratos do dossel depende das condições atmosféricas, da radiação incidente e da estrutura e de propriedades ópticas do dossel.

Como esse procedimento inclui todos os elementos do dossel que interceptam a luz, como galhos, ramos e troncos, é comum utilizar os termos Índice de Área de Planta (IAP), índice de Área de Vegetação (IAV) ou Índice de Área de Superfície (IAS) quando nenhuma correção foi realizada (BRÉDA, 2003; DOVEY; DU TOIT, 2006; JONCKHEERE et al., 2004; STENBERG et al., 2003).

Entre os métodos indiretos usados para a obtenção do IAV, uma maneira que vem sendo bastante utilizada baseia-se na medição da penetração de luz e na quantificação da abertura do dossel, denominada *gap fraction* (NORMAN; CAMPBELL, 1989). Zheng e Moskal (2009) consideram a medida do *gap fraction* uma maneira aceitável de analisar a estrutura de dosséis florestais, a qual geralmente é parametrizada com o IAV e com a distribuição angular das folhas (DAF). O IAV é obtido a partir da inversão da expressão exponencial fundamentada na lei de Lambert-Beer:

$$T(\Theta, \alpha) = e^{-G(\Theta, \alpha) \mu S(\Theta, \alpha)} \quad (2.1)$$

Onde Θ é o ângulo zenital, α é o ângulo azimutal, $T(\Theta)$ é o *gap fraction* na direção (Θ, α) , $G(\Theta, \alpha)$ refere-se à projeção da folhagem na direção (Θ, α) , μ é a densidade da folhagem (m^2/m^3) e S é o comprimento do caminho (m) de um extremo a outro do dossel na direção (Θ, α) (LI-COR, 1992).

Os métodos indiretos que utilizam a teoria do *gap fraction* se baseiam no modelo de Poisson, o qual assume uma distribuição espacial aleatória das folhas no plano de projeção. Assim sendo, em condições de dossel homogêneo, a densidade foliar pode ser relacionada com a razão entre o IAV e a altura do dossel (z) (Equação 2.2). Levando em conta que os sensores calculam o IAV sobre azimute, o comprimento do caminho (S) é dado pela razão entre z e o ângulo zenital Θ (Equação 2.3) (LI-COR, 1992).

$$IAV = \mu z \quad (2.2)$$

$$S(\Theta) = \frac{z}{\cos \Theta} \quad (2.3)$$

Portanto, substituindo as Equações (2.2) e (2.3) na Equação (2.1), tem-se:

$$T(\theta) = e^{-\frac{G(\theta)IAV}{\cos(\theta)}} \quad (2.4)$$

Onde $T(\theta)$ é o *gap fraction* na direção zênite (θ) e $G(\theta)$ é a fração de área de vegetação projetada na direção θ (BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004).

A razão $G(\theta)/\cos(\theta)$ é denominada frequentemente como coeficiente de extinção (K) e, segundo Bréda (2003), vários autores discutiram como determiná-lo e a acuidade do método. Como o coeficiente $K(\theta)$ é determinado em função da estrutura e arquitetura do dossel (SMITH et al., 1991), ele é específico para cada espécie e sítio devido ao ângulo, formato e sobreposição das folhas (JONCKHEERE et al., 2004).

Como o modelo de Poisson assume uma distribuição espacial aleatória das folhas no plano de projeção, essa sobreposição e aglomeração das folhas no dossel não são consideradas (JONCKHEERE et al., 2004; ZHENG; MOSKAL, 2009). Neste sentido, várias investigações foram realizadas com o objetivo de identificar uma correlação quantitativa entre a distribuição e a frequência dos *sunflecks* (fachos de luz direta de alta densidade que atravessam as copas das árvores) e os efeitos de aglomeração e sobreposição, surgindo teorias apontadas como *gap size* (ZHENG; MOSKAL, 2009). Equipamentos como o TRAC (*Tracing Radiation and Architecture of Canopies*), desenvolvido por Chen et al. (1997), podem ser utilizados com confiabilidade neste tipo de análise, já que são capazes de avaliar o efeito de aglomeração da vegetação a partir do que se denomina índice de aglomeração (*clumping index*) (BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004; ZHENG; MOSKAL, 2009). Segundo Zheng e Moskal (2009), a combinação das teorias do *gap fraction* e do *gap size* permite alcançar estimativas mais precisas de IAV.

Nos últimos anos, uma série de instrumentos e processamentos foi desenvolvida e equipamentos ópticos baseados na teoria do *gap fraction* são comercializados e utilizados para acessar indiretamente e, em alguns casos, automaticamente, o IAV de dosséis florestais (JONCKHEERE et al., 2004). Dentre estes, podem ser citados: (i) aqueles que podem operar na frequência da radiação fotossinteticamente ativa (RFA ou PAR, *Photosynthetically Active Radiation*) - compreendida na faixa espectral de 400 a

700 nm - como o SunSCAN (Delta-T Devices Ltd, Cambridge, UK) e o AccuPAR (Decagon Devices, Pullman, USA), (ii) os sensores lineares que medem a radiação solar em um ângulo de visada estreito, como o DEMON (CSIRO, Canberra, Australia) e (iii) os sensores hemisféricos que medem o *gap fraction* em diferentes ângulos zenitais, como o LAI-2000 (Li-Cor, Lincoln, Nebraska, USA) e as câmaras fotográficas acopladas de lentes hemisféricas (BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004; ZHENG; MOSKAL, 2009).

2.3.1. LAI-2000 Plant Canopy Analyser

O LAI-2000 é um instrumento portátil que utiliza um sensor de luz “olho de peixe” (*fisheye*) para medir simultaneamente a atenuação da radiação difusa em cinco distintas bandas angulares (0-13°, 16-28°, 32-43°, 47-58° e 61-74°). Esse sensor é constituído de cinco fotodiodos, cujas superfícies ativas estão arranjadas em anéis concêntricos, sendo que cada anel refere-se a uma banda angular. A imagem dessa visão, praticamente hemisférica, é projetada dentro desses anéis, permitindo medir a radiação para cada intervalo com ângulo zenital conhecido (Figura 2.1). De modo a capturar o máximo de contraste entre as folhas e o céu e a minimizar o efeito da radiação espalhada pelo dossel, um filtro óptico restringe a transmissão da radiação para comprimentos de onda menores que 490 nm (JONCKHEERE et al., 2004; LI-COR, 1992).

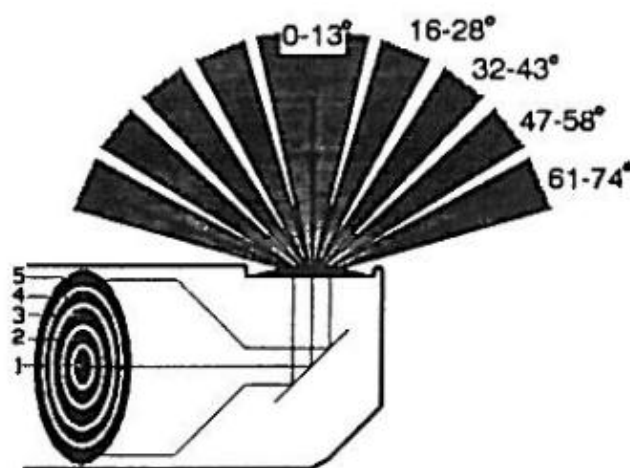


Figura 2.1. Ângulos de visada e arranjo dos cinco detectores do LAI-2000.

Fonte: LI-COR (1992).

Uma particularidade do LAI-2000 é a necessidade de efetuar medições também externamente ao dossel para que sejam usadas como referência na estimativa do IAV. Deste modo, o intervalo entre a leitura de referência e a leitura abaixo do dossel deve ser curto para evitar que as condições atmosféricas e de iluminação do céu variem. Para contornar esse tipo de problema, pode-se operar no método do sensor remoto, em que um sensor faz leituras fora do dossel automaticamente (a cada 30 segundos, por exemplo) e outro sensor é usado para fazer medidas abaixo do dossel manualmente (LI-COR, 1992).

O aparelho ainda possui cinco capas que limitam seu campo de visada em diferentes graus de abertura (270, 180, 90, 45 e 11,25°). Estas capas são usadas para evitar que a radiação direta atinja o sensor óptico, para remover o operador do campo de visão da lente, quando o brilho do céu não está uniforme, quando há clareiras significativas no dossel ou para diminuir o tamanho da abertura exigida para leituras de referência fora do dossel (LI-COR, 1992). Segundo Nackaerts e Coppin (2000), o impacto de fatores externos, como as condições de iluminação e os efeitos de borda, pode ser minimizado ao utilizar a capa de 270°.

Os cálculos, que são derivados automaticamente pelo software interno, baseiam-se em quatro pressupostos: (i) a folhagem é um corpo negro que absorve opticamente toda a luz que recebe, (ii) os elementos da vegetação que bloqueiam a passagem de luz são distribuídos aleatoriamente no dossel, (iii) os elementos vegetais tem a mesma projeção que simples formas geométricas convexas e (iv) os elementos do dossel são pequenos quando comparados à área medida por cada anel (JONCKHEERE et al., 2004).

De acordo com Jonckheere et al. (2004), assumindo que o *gap fraction* é igual à proporção de luz transmitida, sendo esta obtida através das medições acima e abaixo do dossel com o LAI-2000, a Equação (2.4) pode ser reescrita:

$$G(\theta)IAV = -\cos(\theta) \ln[T(\theta)] = K(\theta) \quad (2.5)$$

onde $K(\theta)$ é a frequência de contatos entre os elementos foliares e a radiação e equivale à probabilidade média do número de contatos por unidade de comprimento da trajetória do raio de luz no ângulo zenital θ (WELLES; NORMAN, 1991). O equipamento LAI-

2000 assume que a fração de distribuição angular é do tipo esférica, sendo $G(\theta)$ constante e igual a 0,5 (CAMPBELL; NORMAN, 1989). O software do equipamento calcula então uma solução numérica para todos os cinco ângulos de visada do detector a partir dos dados de transmissão registrados (WELLES; NORMAN, 1991):

$$IAV = -2 \sum_{i=1}^5 \ln[T_i] \cos \theta W_i \quad (2.6)$$

Onde T_i refere-se às cinco frações de abertura e W_i são os fatores de ponderação para cada faixa de medição do sensor (0.034, 0.104, 0.160, 0.218 e 0.484, respectivamente).

O LAI-2000 tem sido bastante utilizado em análises do dossel florestal devido à praticidade na obtenção dos dados (CHAVES et al., 2007; DOVEY; DU TOIT, 2006; PAIVA, 2009; XAVIER et al., 2002).

2.3.2. Fotografias hemisféricas

As fotografias hemisféricas são obtidas a partir da acoplagem de uma câmara fotográfica a uma lente olho de peixe (*fisheye*), a qual é posicionada abaixo do dossel e orientada para zênite (DELTA-T DEVICES LTD, 2009). Como essas fotografias fornecem um campo de visão extremo, geralmente de 180°, o resultado é uma projeção do hemisfério em um plano, que varia de acordo com a lente usada. Cada posição da imagem corresponde a uma direção no céu, que é representada por dois ângulos: (i) o ângulo zênite Θ e (ii) o ângulo azimute α (relativo ao norte verdadeiro) (Figura 2.2a). As lentes com uma projeção equi-angular perfeita (180° de campo de visão) geram uma imagem circular com uma visão completa do céu em todas as direções, com o zênite no centro da imagem e o horizonte nas bordas, sendo que o Leste e o Oeste são invertidos da condição normal encontrada em mapas, já que a vista é para cima em vez de para baixo (Figura 2.2b). (DELTA-T DEVICES LTD, 2009; JONCKHEERE et al., 2004).

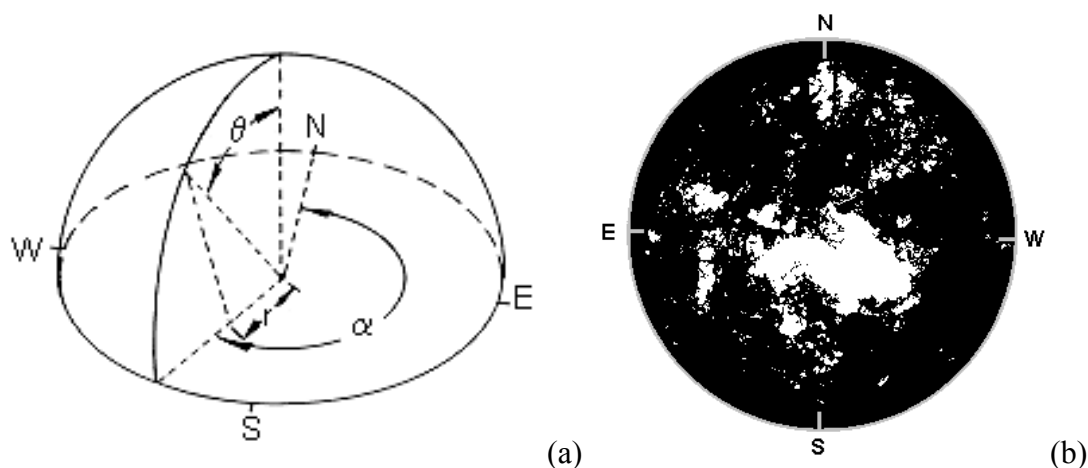


Figura 2.2. Visão equi-angular das fotografias hemisféricas, representadas pelos ângulos em zênite (θ) e em azimuth (α) (a) e imagem hemisférica pré-processada de uma floresta tropical na Costa Rica (b).
Fonte: Delta-T Devices Ltd, 2009.

Antigamente, os autores que analisavam fotografias hemisféricas utilizavam câmaras analógicas e técnicas de escaneamento para as análises das imagens. O advento da tecnologia digital refletiu em uma redução dos custos - devido a não necessidade do uso de filmes - e do tempo de análise e processamento. Além disso, visto que as câmaras digitais modernas trabalham em alta resolução, a frequência de pixels mistos é reduzida, o que torna a análise das imagens mais precisa (JONCKHEERE et al., 2004).

O uso das fotografias hemisféricas fornece um registro permanente de importantes informações do dossel, como posição, tamanho, densidade e distribuição das aberturas (*gap fraction*) em diferentes ângulos zenitais e azimutais (ZHANG et al., 2005). Sendo assim, é capaz de capturar as diferenças relacionadas a espécies, local e idade na estrutura do dossel, com base na atenuação da luz e contraste entre os elementos do dossel e o céu (JONCKHEERE et al., 2004).

Embora essa técnica apresente muitas vantagens, como todas as tecnologias baseadas em sensoriamento remoto, erros podem ocorrer desde a fase de aquisição até a análise da imagem (JONCKHEERE et al., 2004). Neste sentido, é preciso ter alguns cuidados no momento da tomada das fotografias, como alinhar e nivelar a câmara, tanto horizontalmente como verticalmente. Além disso, deve-se ajustar adequadamente as configurações da câmara, visando maximizar o contraste entre o céu e os componentes do dossel. O tempo de exposição utilizado para a aquisição das fotografias é essencial

para a obtenção de resultados confiáveis (ZHANG et al., 2005). Conforme mencionado por Chen et al. (1997) e Nobis e Hunziker (2005), esta exposição depende da intensidade de luz do ambiente e do tempo que ela demora a agir nos sensores fotossensíveis. Portanto, os parâmetros que devem ser ajustados são a velocidade do obturador da máquina e o diâmetro de abertura da lente. Uma superexposição pode acarretar na perda de detalhes dos elementos escuros e uma subexposição pode levar à perda de detalhes dos elementos claros da imagem (LEBLANC; CHEN, 2001; ZHANG et al., 2005).

Outro ponto que é de extrema importância durante a tomada das fotografias está relacionado à uniformidade das condições atmosféricas. A presença de nuvens pode confundir e prejudicar a classificação das fotografias no aplicativo. Deve-se também evitar radiação solar direta nas folhas, pois sua reflexão dentro do dossel pode provocar clarões que dificultem a distinção entre os elementos. Sendo assim, é indicado que as fotografias sejam tomadas um pouco antes do nascer do sol ou logo após o poente (DELTA-T DEVICES LTD, 2009; JONCKHEERE et al., 2004).

Outro problema que é citado frequentemente na literatura refere-se à seleção de um limiar de brilho ótimo para a classificação da imagem. Conhecido como *threshold*, este valor é utilizado como parâmetro para que cada pixel seja classificado como branco (céu) ou preto (área de biomassa verde), produzindo uma imagem binária (JONCKHEERE et al., 2004). Normalmente, valores de limiar muito altos resultam em um IAV superestimado (ZHENG; MOSKAL, 2009). Uma série de aplicativos tem sido desenvolvida para o processamento dessas imagens, como o CAN-EYE (*French National Institute of Agricultural Research, INRA*), o *Gap Light Analyser*, GLA (FRAZER et al., 1999), o Hemisfer (*Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research, WLS*), o HemiView (Delta-T Devices Ltd), entre outros. No entanto, a escolha do limiar é manual e, conseqüentemente, feita de maneira subjetiva e arbitrária, o que insinua uma fonte de erro. Com base nisto, Nobis e Hunziker (2005) programaram um algoritmo para a determinação automática do *threshold*, que pode ser implementado em alguns dos aplicativos (JONCKHEERE et al., 2004).

Os aplicativos de análise das fotografias hemisféricas usam um modelo para estimar a quantidade de radiação solar que será recebida em um local - tanto a radiação direta

proveniente do Sol como aquela difusa derivada de todo o céu. O modelo do aplicativo HemiView, que será empregado neste estudo, calcula as condições da radiação solar a partir da constante solar (quantidade de radiação solar incidente na superfície da atmosfera terrestre: 1370 W/m^2) e de dois valores numéricos que caracterizam as condições atmosféricas locais: (i) a fração de radiação transmitida até a superfície da Terra (considerando o nível do mar, com o Sol em zênite) e (ii) a proporção de radiação que é espalhada e torna-se luz difusa (sendo o restante refletido). Combinando isso com a latitude, altitude, data e tempo de análise (podendo ser um dia, um mês ou um ano), o HemiView calcula quanto de radiação direta será espalhada ou absorvida no caminho até a superfície terrestre e quanto será espalhado para o restante do céu (DELTA-T DEVICES LTD, 2009).

O HemiView ainda utiliza para fazer suas estimativas um mapa do céu (*Skymap*) e um mapa do Sol (*Sunmap*). O primeiro divide a fotografia em áreas que representam diferentes direções, de modo que, combinado com valores de radiação difusa incidente, ele mostra como a luz difusa disponível varia no *espaço* (Figura 2.3a). Já o *Sunmap* corresponde à faixa de sol durante todo o dia, ou ao longo do ano, por isso, quando combinado com valores de radiação direta incidente, mostra como a radiação direta varia ao longo do *tempo* (Figura 2.3b) (DELTA-T DEVICES, 2009).

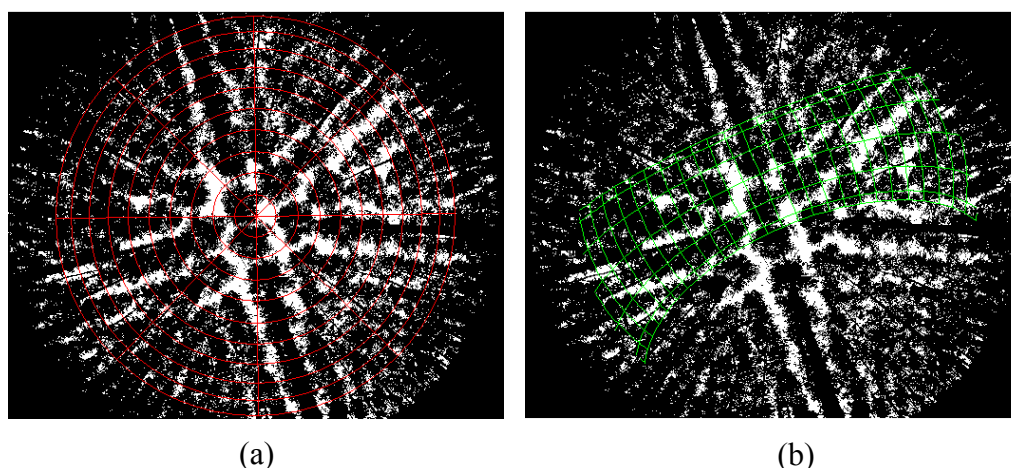


Figura 2.3. Imagens hemisféricas classificadas de plantios de eucalipto mostrando as divisões de *Skymap* em vermelho (a) e de *Sunmap* em verde (b) do aplicativo HemiView.

Por meio dessas divisões, o aplicativo calcula a radiação global que atinge um local, definida como a soma da radiação direta e difusa que passa através das aberturas do

dossel, não incluindo a radiação refletida pelos elementos que ocasionam as direções obscurecidas do céu. O modelo básico do HemiView calcula a radiação direta e a radiação difusa a partir da multiplicação do *gap fraction* de um setor do *Sunmap* pela radiação proveniente de um setor do *Skymap*, corrigida para o ângulo de incidência. O ângulo de incidência é aquele formado entre a superfície e a radiação incidente, medido com relação à direção normal à superfície, portanto, a quantidade de radiação que chega até a superfície é proporcional ao cosseno do ângulo de incidência. Sendo assim, o HemiView multiplica a radiação proveniente de cada setor do céu (difusa ou direta) pelo cosseno do ângulo de incidência do centroide do setor do céu com a superfície. Com base nesses valores, o aplicativo é capaz de calcular uma série de índices, dentre eles o IAV, que, assim como o algoritmo do LAI-2000, estima o IAV como metade do total de área foliar por unidade de área de solo a partir da inversão do modelo baseado na equação de Lambert-Beer (Equação 2.4) (DELTA-T DEVICES, 2009).

Outro parâmetro importante que pode ser extraído a partir das fotografias hemisféricas é a abertura ou densidade do dossel, que representa a proporção que a vegetação é capaz de obscurecer da porção do céu registrada a partir de um ponto (CHEN et al., 1997; JENNINGS, 1999). Essa variável é de grande utilidade por estar diretamente relacionada com o regime de luz e com o microclima de um povoamento, abordando também informações quanto à sobrevivência e crescimento das plantas no ponto de medida (JENNINGS, 1999). Infelizmente, Jennings (1999) destaca que essa variável é confundida na literatura com a cobertura florestal, que, segundo o autor, refere-se à proporção coberta de superfície da floresta quando as copas das árvores são projetadas verticalmente. Essa última pode ser medida com o auxílio de um densitômetro vertical (STUMPF, 1993). Alguns autores utilizaram a cobertura florestal para prever o volume de madeira de um povoamento, baseados na relação linear entre a área ocupada pela copa da árvore e a área basal do seu tronco (PHILIP, 1994). A importante diferença entre a densidade do dossel e a cobertura florestal é ilustrada na Figura 2.4.

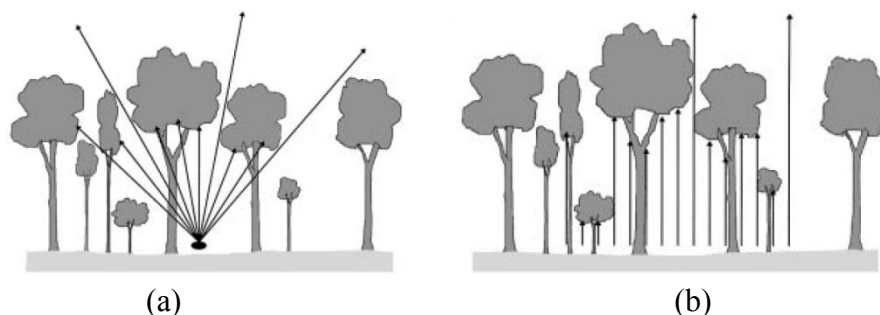


Figura 2.4. Exemplos de obtenção de medida de abertura ou densidade do dossel (a) e de cobertura florestal (b).

Fonte: Jennings (1999).

Muitos estudos aplicaram fotografias hemisféricas para estudar variáveis biofísicas de dosséis de eucaliptais (CHAVES et al., 2007; MACFARLANE et al., 2007c; PAIVA, 2009; TONELI et al., 2007).

2.3.3. Satélites

Os dados coletados a partir de plataformas orbitais possibilitam obter informações sobre a vegetação de maneira rápida, não destrutiva e com nível aceitável de precisão (SOUSA; PONZONI, 1998). Diversos autores procuraram relacionar quantitativamente os dados de sistemas multiespectrais detectados orbitalmente com as variáveis biofísicas da vegetação, aplicando modelos empíricos (CANAVESI; PONZONI, 2007; KAWA et al., 2011; PACHECO, 2010, SOUSA; PONZONI, 1998). A modelagem empírica consiste do estabelecimento de relações entre variáveis mediante equações de regressão. Apesar de ser um método computacionalmente eficiente (DARVISHZADEH et al., 2008), é importante ressaltar que, ao analisar a interação da radiação incidente no dossel (reflexão, absorção e transmissão), essa metodologia não considera os aspectos geométricos tanto da incidência da radiação quanto da coleta dos dados, nem mesmo variáveis relacionadas à estrutura do dossel, como o tamanho e a posição de seus elementos (LIANG, 2004).

Normalmente, o estabelecimento desta relação exige levantamentos de campo laboriosos e custosos, sendo sua aplicação restrita ao conjunto de dados que a gerou, desde o sensor utilizado até as condições ambientais, que podem variar no espaço e no tempo (COLOMBO et al., 2008). O método empírico geralmente relaciona Fatores de Reflectância Bidirecional (FRB) ou Índices de Vegetação (IV) com uma ou múltiplas

variáveis biofísicas (CANAVESI; PONZONI, 2007; KAWE et al., 2011; MARSDEN et al., 2010; PACHECO, 2010; SOUSA; PONZONI, 1998)

Os IV exploram o comportamento da vegetação em relação à radiação eletromagnética (REM) nos diferentes comprimentos de onda. Levando em consideração uma folha isolada, o estudo do seu comportamento espectral pode ser dividido em três regiões: visível, infravermelho próximo e infravermelho médio¹. A região do visível se diferencia por uma baixa reflectância ocasionada pela absorção da energia pela clorofila e outros pigmentos (carotenos, xantofilas e antocianinas), principalmente na região no azul (próximo a 0,445 μm) e do vermelho (próximo a 0,645 μm), sendo que a absorção da energia na região do vermelho é proporcional à quantidade de clorofila presente nas folhas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Na região do infravermelho próximo há aumento da reflectância devido ao espalhamento da radiação que ocorre dentro da estrutura foliar. Já na região do infravermelho médio, a reflectância é influenciada pelas bandas de absorção da água; a diminuição na umidade da folha provoca um decréscimo da absorção e aumento da reflectância (HOFFER, 1978). Com base nisso, foram desenvolvidos os IV, que são medidas radiométricas adimensionais, as quais indicam a abundância relativa e a atividade da vegetação verde, incluindo o IAF, a porcentagem de cobertura verde, o teor de clorofila, a biomassa verde e a fAPAR (JENSEN, 2009). No entanto, cabe ressaltar que a compreensão da dinâmica espectral de um dossel vegetal diferencia-se do comportamento espectral de uma folha isolada, afinal a radiância espectral refletida pelos dosséis é influenciada pelas características estruturais de todos os elementos constituintes do dossel, como a distribuição espacial, a densidade e a orientação e, ainda, por parâmetros relacionados às geometrias de iluminação e de visada (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007; SOUSA; PONZONI, 2007).

Dentre os índices de vegetação, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*, NDVI) é o mais utilizado para estudos de

¹ A região do visível vai de 0,4 a 0,72 μm ; a região do infravermelho próximo abrange a faixa dos 0,72 a 1,10 μm e a região do infravermelho médio vai de 1,10 a 3,20 μm , aproximadamente (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

caracterização e monitoramento da vegetação (SOUSA; PONZONI, 1998) e se dá pela relação:

$$NDVI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V)} \quad (2.7)$$

Onde ρ_{IVP} é o valor de reflectância no infravermelho próximo e ρ_V refere-se ao valor de reflectância na banda do vermelho (ROUSE et al., 1974).

O NDVI é capaz de monitorar as mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e atividade da vegetação, porém é muito sensível a variações do substrato sob o dossel (JENSEN, 2009). De fato, Goel (1988) adverte que os sensores ópticos recebem diversos tipos de fluxos: (i) o fluxo espalhado a partir de apenas um elemento da vegetação (espalhamento único), (ii) o fluxo espalhado por diversos elementos do dossel (espalhamento múltiplo), mas sem atingir o solo, (iii) o fluxo refletido pelo solo sem ter sido interceptado por elementos do dossel e (iv) o fluxo refletido pelo solo e interceptado pelos elementos do dossel e espalhado na direção do sensor. Sendo assim, a fim de amenizar o efeito da resposta do solo, que pode ser dominante sobre a resposta da vegetação dependendo da porcentagem de cobertura, foi criado o Índice de Vegetação Ajustado para os Efeitos do Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index*, SAVI) (HUETE, 1988), que se baseia no princípio de que a curva espectral da vegetação tende a aproximar-se da curva do solo para vegetações de baixa densidade, levando a uma mistura nas respostas espectrais para densidades médias e quase nenhuma influência do solo para vegetações com densidade alta (SOUSA; PONZONI, 1998). Tipicamente, os índices melhorados incorporam um fator de ajuste, como apresentado na equação do SAVI:

$$SAVI = (1 + L) \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_{IVP} + \rho_V + L)} \quad (2.8)$$

Onde L é o fator de ajuste para o substrato do dossel e equivale a 0,5 (HUETE, 1988).

Ainda com o escopo de aperfeiçoar o sinal da resposta da vegetação foi desenvolvido o Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index*, EVI), que melhora a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, além de reduzir as influências atmosféricas (HUETE et al., 2002). Seu cálculo se dá pela seguinte relação:

$$EVI = G \frac{(\rho_{IVP} - \rho_V)}{(\rho_V + C1\rho_V - C2\rho_A + L)} \quad (2.9)$$

em que L é fator de ajuste para o solo e C1 e C2 são os coeficientes que descrevem o uso da banda azul para a correção da banda vermelha quanto ao espalhamento atmosférico por aerossóis. Esses coeficientes são empiricamente determinados, assumindo valores de 6,0; 7,5 e 1,0; respectivamente. G é um fator de ganho ajustado em 2,5.

O Índice de Umidade por Diferença Normalizada (*Normalized Difference Moisture Index*, NDMI) ou Índice de Diferença Normalizada da Água (*Normalized Difference Water Index*, NDWI) foi desenvolvido com o intuito de obter informações quanto ao conteúdo de umidade interno à vegetação. Gao (1996) verificou que o NDWI consegue acompanhar mudanças na biomassa e no estresse de umidade das plantas melhor do que o NDVI. Ele pode ser definido da seguinte forma:

$$NDWI = \frac{(\rho_{IVP} - \rho_{IVM})}{(\rho_{IVP} + \rho_{IVM})} \quad (2.10)$$

Onde são contempladas as reflectâncias do infravermelho próximo (ρ_{IVP}) e do infravermelho médio (ρ_{IVM}).

2.3.3.1. Sensor MODIS

Entre os sensores orbitais atualmente em uso pela comunidade científica, destaca-se o MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), principal instrumento das plataformas Aqua e Terra do programa internacional EOS (*Earth Observing System*), liderado pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*). A bordo da plataforma Terra, lançada com sucesso em 18 de Dezembro de 1999, o MODIS divide espaço com outros sensores: CERES (*Clouds and the Earth's Radiant Energy System*) e MISR (*Multi-Angle Imaging SpectroRadiometer*), igualmente da NASA; ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*) do Japão; e MOPITT (*Measurement of Pollution in the Troposphere*) do Canadá. Com sua varredura de 55° para cada lado em uma órbita de 705 km de altura, a faixa imageada pelo MODIS é de 2.330 km, com cobertura global em dois dias (SOARES et al., 2007).

O MODIS possui alta sensibilidade radiométrica (12 bits) em 36 bandas espectrais contidas no intervalo de 0,4 a 14,4 μm do espectro eletromagnético. Duas bandas são adquiridas na resolução de 250 m, outras cinco bandas na resolução de 500 m (Tabela 1) e as demais 29 bandas em 1 km.

Tabela 2.1. Características das bandas 1 a 7 do sensor MODIS/Terra.

Fonte: <http://modis.gsfc.nasa.gov/about/specifications.php>

Banda Espectral	Faixa espectral	Largura da banda (μm)	Resolução Espacial (m)
1	Vermelho	0,620 - 0,670	250
2	Infrav. Próximo	0,841 - 0,876	
3	Azul	0,459 - 0,479	
4	Verde	0,545 - 0,565	500
5	Infrav. Médio	1,230 - 1,250	
6		1,628 - 1,652	
7		2,105 - 2,155	

Concebido para fornecer uma série de informações sobre a biosfera terrestre, o instrumento fornece dados de níveis altos que, após cuidadosa calibração, são transformados em variáveis com significado físico, como FRB, IAF e temperatura de superfície (SOARES et al., 2007). As características das bandas do MODIS permitiram o desenvolvimento inicial de 44 produtos. A menor unidade de processamento dos mesmos é definida como *tile*, correspondente a uma área geocodificada de 1.200 x 1.200 km (10 x 10 graus). Para este estudo, destacam-se os seguintes produtos para ecossistemas terrestres (MODLAND):

- ✓ MOD09A1 - Reflectância de Superfície (*Surface Reflectance*): é uma estimativa da reflectância de superfície das bandas 1 a 7 com 500 m de resolução espacial em uma grade de projeção Sinusoidal (JUSTICE et al., 1998). Cada pixel contém a melhor observação possível durante um período de oito dias, sendo que estes são selecionados em função dos menores ângulos zenitais solares, ausência de nuvens ou sombras de nuvens e densidade de aerossóis. Seu nível de processamento é 3, o que significa que seus dados foram calibrados radiometricamente, passaram por correção atmosférica (modelo *Second Simulation of the Satellite in the Solar Spectrum Radiative Code* - 6S) e ganharam informações de referência espacial (VERMOTE et al., 2011). Os

dados utilizados na correção atmosférica são provenientes de “look-up tables” que fornecem os valores de transmitância e de radiância proveniente da trajetória para uma grande variedade de geometrias de aquisição e os valores da concentração de aerossóis. Suas estimativas vêm acompanhadas de controle de qualidade (*Quality Assessment*; QA) com informações sobre cada pixel relacionadas com a integridade da estimativa, sucesso de correção, presença de nuvens e informações sobre aerossol, vapor d’água e ozônio (LATORRE et al., 2007).

- ✓ MOD13Q1 - Grades de Índices de Vegetação (*Gridded Vegetation Indices*): contém os índices de vegetação NDVI e EVI. São produzidos globalmente com uma resolução espacial de 250 m e a partir de uma composição de 16 dias. Com um nível de processamento 4, os resultados desses produtos apresentam correção atmosférica, calibração radiométrica, georreferenciamento e controle de qualidade (QA), descritos anteriormente (LATORRE et al., 2007). Maior detalhamento sobre estes produtos pode ser encontrado no guia de usuário (SOLANO et al., 2010).
- ✓ MOD15A2 – IAF e fAPAR (*LAI and fAPAR*): estimativas dos parâmetros de IAF ($\text{m}^2 \text{ planta/m}^2$) e fAPAR (%), sendo o último referente à fração de radiação solar disponível para o processo fotossintético efetivamente absorvida pelo dossel florestal (DYE; GOWARD, 1993), com uma resolução de 1 Km e mosaico de 8 dias. Por ter um nível de processamento 4, as mesmas considerações feitas anteriormente cabem a esse produto (LATORRE et al., 2007). Informações mais detalhadas podem ser encontradas no guia de usuário (MYNENI et al., 2003).
- ✓ MOD17A2 – Produtividade Primária Bruta (*Gross Primary Production*, GPP): consiste na medida da fotossíntese líquida e da produtividade primária líquida (Kg C/m^2) para períodos de 8 dias, com uma resolução espacial de 1 Km e nível de processamento 4. A produtividade primária é a taxa com que a energia luminosa é convertida em biomassa, sendo a produtividade primária bruta referente à soma total da energia convertida (LATORRE et al., 2007). Mais

informações sobre o produto podem ser encontradas no guia de usuário (HEINSCH et al., 2003).

Os produtos MODIS são disponibilizados gratuitamente e podem ser adquiridos via ftp (*File Transfer Protocol*, Protocolo de Transferência de Arquivos) através da página do GLOVIS (*Global Visualization Viewer*) da USGS (*United States Geological Survey*). A conversão dos arquivos para outros formatos, assim como a mosaicagem dos *tiles* e mudança da projeção pode ser realizada com o auxílio da ferramenta MRT (*MODIS Reprojection Tools*) desenvolvida pela NASA, que também é disponibilizada e pode ser adquirida gratuitamente.

Estudos recentes como os de Kawe et al. (2011) e de Marsden et al. (2010) utilizaram dados MODIS/Terra para avaliar suas relações com características estruturais de áreas florestais, enquanto outros os aplicaram como variável de entrada para modelos de predição de produtividade (NIGHTINGALE et al., 2007). Le Maire et al. (2011a) encontraram relações significativas entre o IAF obtido pelo método destrutivo e os IV calculados a partir de dados MODIS e modelos de transferência radiativa para plantios de eucalipto.

2.3.3.2. Sensor Vegetation

A série de satélites SPOT (*Système Pour l'Observation de la Terre*) foi desenvolvida pelo Centro Francês de Estudos Espaciais (*Centre National d'Études Spatiales*, CNES) em cooperação com a Bélgica e a Suécia. Os três primeiros satélites (lançados em 1986, 1990 e 1993) levaram a bordo dois sensores HRV (*High Resolution Visible*) idênticos, com resoluções espaciais de 10 m e 20 m em modo pancromático e multiespectral, respectivamente. Ao quarto satélite, lançado em 1998, acrescentou-se o sensor Vegetation - fruto de uma colaboração entre vários parceiros europeus: Bélgica, França, Itália, Suécia e a Comissão Européia - e alteraram-se alguns parâmetros dos sensores HRV, como o acréscimo de uma banda no infravermelho médio, transformando-os nos sensores HRVIR (*High Resolution Visible and Infrared*). Em 3 de maio de 2002, o SPOT-5 foi lançado com os seguintes sensores a bordo: (i) 2 HRG (*High Resolution Geometric*), que são uma evolução do sensor HRVIR com aumento da resolução espacial, (ii) o HRS (*High Resolution Stereo*), que permite a geração de pares estéreos e

(iii) o Vegetation-2, que possui as mesmas características que o Vegetation (JENSEN, 2009).

O sensor Vegetation-2 (VGT) é um radiômetro de varredura eletrônica multiespectral que opera em comprimentos de onda ópticos com objetivas separadas para cada uma das quatro bandas espectrais, desde 0,43 até 1,75 μm (Tabela 2). Em uma órbita a 822 Km e com uma varredura de $\pm 50,5^\circ$, gera uma faixa de imageamento de 2250 Km e tem uma resolução espacial de 1,15 x 1,15 Km (JENSEN, 2009).

Tabela 2.2. Características do sensor Vegetation-2 a bordo do satélite SPOT-5.

Banda Espectral	Faixa espectral	Largura da banda (μm)	Resolução Espacial (Km)
1	Azul	0,43 – 0,47	1,15
2	Vermelho	0,61 – 0,68	
3	Infrav. Próximo	0,78 – 0,89	
SWIR	Infrav. Médio	1,58 – 1,75	

Existem dois níveis de produtos VGT: os *Primary Products* (P) e os *Synthesis Products* (S). Os produtos VGT-P são utilizados em sua maioria por físicos para desenvolvimento metodológico. Referem-se aos valores de reflectância no topo da atmosfera, corrigidos radiometricamente e geometricamente a partir de um conjunto de dados originais recebidos da estação primária receptora, chamado *Core Archive*, que contém informações quanto à calibração, à geometria de visada, local e data de aquisição. Esses produtos também anexam dados topográficos, que permitem considerar as variações de iluminação solar em função de aspectos de inclinação e orientação do terreno. Além disso, trazem informações como concentração de ozônio, vapor d'água e aerossol essenciais para a correção atmosférica das imagens. A qualidade desses produtos é detalhada em um arquivo *Status Map*, que fornece atributos como a presença de nuvens em cada pixel (SAINT, 1994).

Já os produtos VGT-S referem-se às melhores medidas dos produtos P - selecionadas em função do maior valor de NDVI no topo da atmosfera - corrigidas para gerar valores referentes à reflectância de superfície. Estes podem ser computados a partir das diferentes passagens de um só dia, sendo que tais passagens referem-se aos diferentes

ângulos de visada de um determinado local (S1) ou a partir de todas as passagens adquiridas durante um período de 10 dias (S10), definidos de acordo com o calendário legal – do 1º ao 10º, do 11º ao 20º e do 21º ao último dia de cada mês. Com base nas informações topográficas e atmosféricas anexadas ao produto P (citadas anteriormente), a correção atmosférica desses produtos é feita mediante o procedimento SMAC (*Simplified Method for the Atmospheric Correction*). O *Status Map* é o mesmo dos produtos P que os geraram. Os produtos VGT-S10 são disponibilizados também com resolução degradada de 4 Km (S10.4) ou 8 Km (S10.8), sendo que aqueles com mais de três meses são disponibilizados gratuitamente para os usuários na página da VITO (*Vision on Technology*, Bélgica), onde também pode ser adquirida a ferramenta VGTEExtract, que serve para descompactar o produto (distribuído em HDF), extrair as sub-regiões de interesse dos arquivos e convertê-los para outros formatos.

Os dados VGT/SPOT foram utilizados por diversos autores para caracterizar espectralmente áreas florestais queimadas (LASAPONARA, 2006) ou diferentes tipos de vegetação (VANCUTSEM et al., 2009) e até mesmo para analisar a variação sazonal de florestas (GUYON et al., 2011) .

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O estudo foi realizado em plantios de eucalipto pertencentes à Empresa Fibria. Os talhões se situam na Unidade Florestal Aracruz, localizada no Estado do Espírito Santo. As parcelas foram distribuídas em duas diferentes regiões: (i) região Aracruz, localizada abaixo do rio Doce e (ii) região São Mateus, que abrange os plantios situados acima do rio Doce até a divisa com a Bahia (Figura 3.1).

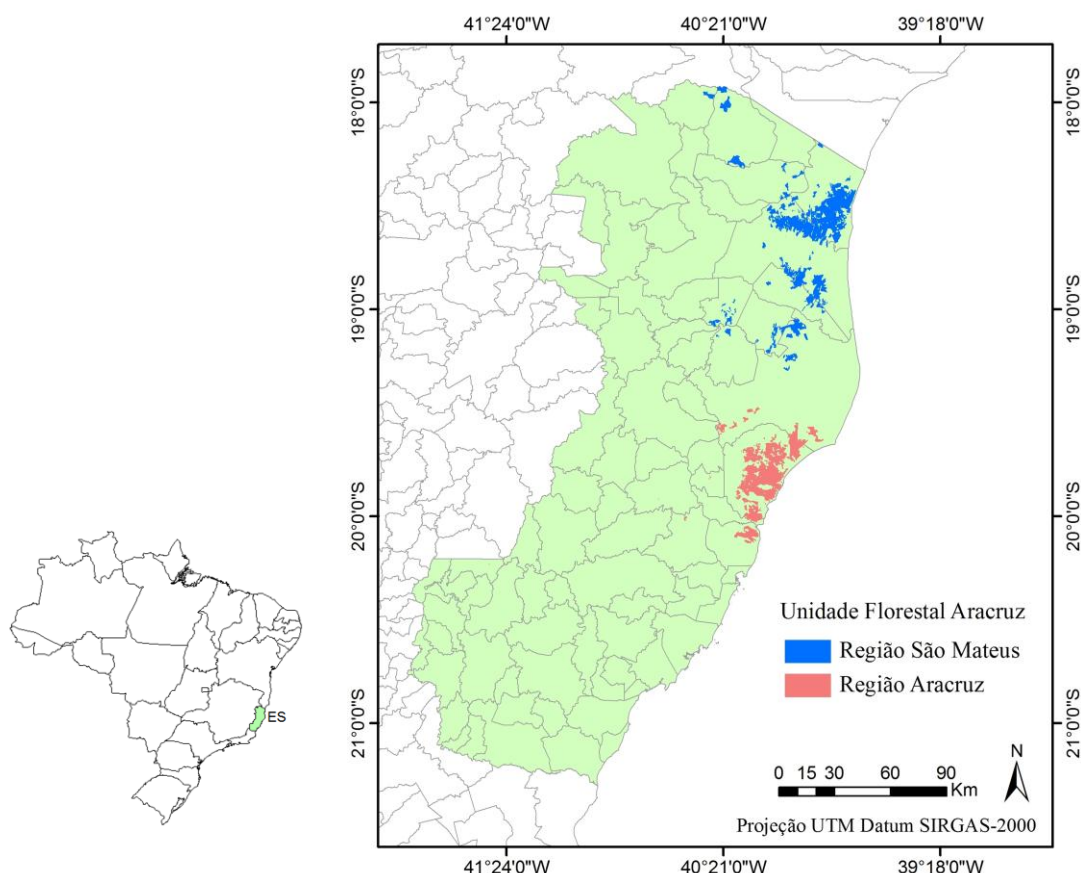


Figura 3.1. Localização geográfica das regiões da Unidade Florestal Aracruz no Estado do Espírito Santo (em verde).

Os talhões de *Eucalyptus* spp. avaliados (Figuras 3.2 e 3.3) foram implantados com um espaçamento de 3 x 3 metros, alcançando uma densidade aproximada de 1.100 árvores por hectare. Durante o período de coleta dos dados, as idades variavam entre 20 e 56 meses (aproximadamente 1,6 a 4,7 anos), de maneira a abranger talhões em diferentes períodos do ciclo produtivo antes da época de colheita.

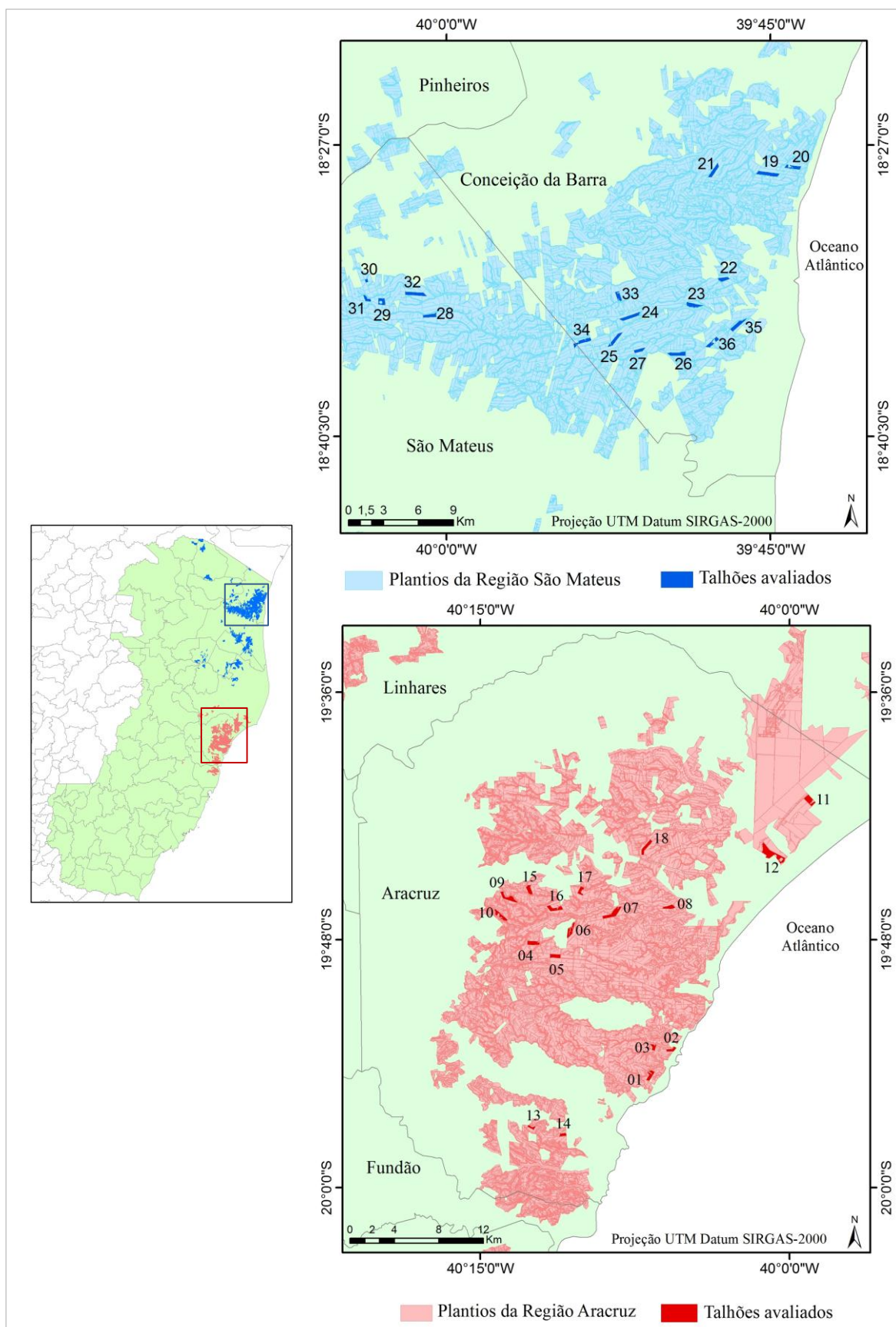


Figura 3.2. Distribuição dos talhões avaliados nas regiões Aracruz e São Mateus.

Um resumo das principais características dos plantios estudados nas regiões Aracruz e São Mateus é apresentado nas Tabelas 3.1 e 3.2, respectivamente.

Tabela 3.1. Descrição dos talhões avaliados na região Aracruz.

Parcela	Data do plantio	Manejo	Material genético	Área do talhão (ha)	Coordenadas do centro da parcela	
3	mai/08	Rebrota	<i>E. grandis</i> (Rio Claro)	13,39	40°06'38.3"W	19°53'17.8"S
9	mai/09	Rebrota		27,88	40°13'54.8"W	19°45'51.1"S
15	ago/09	Rebrota		23,68	40°12'42.7"W	19°45'32"S
16	mai/09	Rebrota		33,88	40°11'31.9"W	19°46'34.5"S
17	mai/09	Rebrota		19,22	40°10'14.5"W	19°45'41.6"S
1	jan/07	Reforma	<i>E. urograndis</i> M7-1	26,01	40°06'44.5"W	19°54'37.8"S
5	mai/08	Reforma		26,46	40°11'22"W	19°48'50.4"S
8	jul/08	Reforma		20,58	40°5'47"W	19°46'28.6"S
14	abr/07	Reforma		18,79	40°11'5.1"W	19°57'29.9"S
4	jul/08	Reforma	G44X227/1	30,08	40°12'33.3"W	19°48'5.2"S
10	ago/08	Reforma		24,28	40°13'48.0"W	19°46'56.8"S
12	ago/07	Reforma		94,83	40°1'5.7"W	19°43'32.2"S
13	abr/07	Reforma		10,1	40°12'32.1"W	19°57'7.5"S
6	mai/08	Reforma	G44X487/4	24	40°10'33.9"W	19°47'38.6"S
18	out/08	Reforma		34,44	40°7'0.2"W	19°43'26.9"S
2	set/08	Reforma	G44X641/2	16,63	40°05'50.1"W	19°53'23.8"S
7	abr/08	Reforma		52,42	40°08'19.2"W	19°46'39.1"S
11	ago/07	Reforma		41,15	39°58'8.2"W	19°41'16.9"S

Tabela 3.2. Descrição dos talhões avaliados na região São Mateus.

Parcela	Data do plantio	Manejo	Material genético	Área do talhão (ha)	Coordenadas do centro da parcela	
28	jan/07	Reforma	<i>E. grandis</i> (Rio Claro)	27,36	40°00'45.9"W	18°34'57.2"S
31	mar/07	Reforma		13,46	40°03'48.2"W	18°34'03.3"S
19	ago/09	Rebrota		46,91	39°45'23.7"W	18°28'14.9"S
22	jun/09	Rebrota		21,6	39°47'10.9"W	18°33'16.9"S
23	jun/09	Rebrota		32,14	39°48'45.0"W	18°34'18.6"S
27	jul/09	Rebrota		19,6	39°50'54.4"W	18°36'24.9"S
25	mai/08	Reforma	<i>E. urograndis</i> - M7-1	32	39°52'04.4"W	18°35'54.9"S
36	set/08	Reforma		24,49	39°47'26.3"W	18°36'00.9"S
33	abr/08	Reforma	<i>E. urograndis</i> VC361	23,07	39°52'07.9"W	18°33'57.8"S
20	ago/08	Reforma	G44X227/1	26,31	39°43'55.7"W	18°27'57.5"S
21	ago/08	Reforma		31,98	39°47'33.7"W	18°28'11.8"S
24	jun/08	Reforma		38,25	39°51'49.5"W	18°35'07.0"S
30	abr/07	Reforma		5,09	40°03'39.7"W	18°33'18.0"S
35	set/08	Reforma	G44X487/4	36,35	39°46'38.6"W	18°35'30.8"S
34	set/08	Reforma		35,78	39°54'03.8"W	18°36'20.2"S
26	mar/08	Reforma	G44X641/2	37,57	39°49'24.0"W	18°36'44.2"S
29	mar/07	Reforma		23,39	40°02'52.0"W	18°34'22.0"S
32	dez/06	Reforma		42,61	40°01'18.5"W	18°33'55.1"S

Onde Reforma = replantio; Rebrota = condução de brotação das cepas.

O clima da região do Espírito Santo é qualificado pela classificação de Köppen como Aw, com temperatura média anual e precipitação média anual de 23° e 1.400 mm ao ano, respectivamente. A região se encontra em zona caracterizada por chuvas tropicais de verão, com estação seca durante o outono e o inverno. Os dados obtidos de 11 estações pluviométricas instaladas pela própria empresa - seis em Aracruz e cinco em São Mateus - indicam que o volume do regime de chuvas da região Aracruz é um pouco maior do que a de São Mateus, não havendo, porém, grandes diferenças quanto às temperaturas (Figuras 3.3 e 3.4). As setas no gráfico apontam as épocas de coleta de dados em campo.

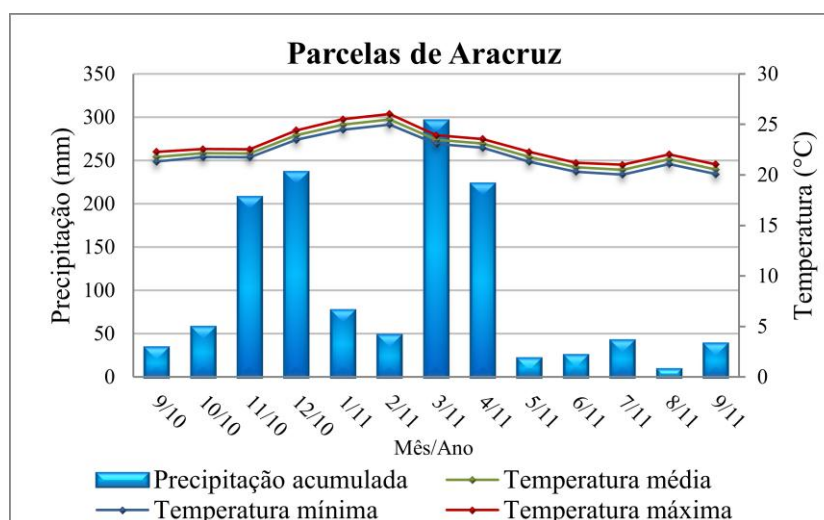


Figura 3.3. Precipitação e temperatura mensais médias da região Aracruz.

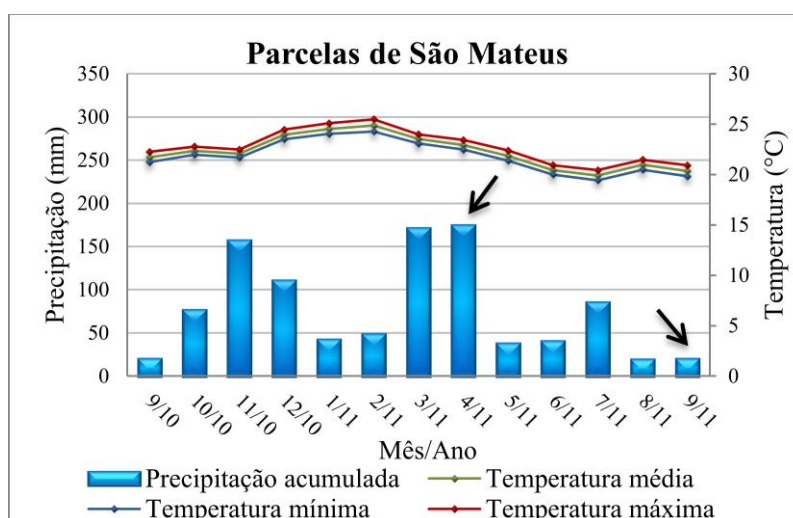


Figura 3.4. Precipitação e temperatura mensais médias da região São Mateus.

A região se encontra em área de tabuleiros costeiros, que constituem uma unidade geomórfica desenvolvida sobre os sedimentos da Formação Barreiras. A Formação Barreiras é composta por areias finas a grossas, argilas cinza-avermelhadas, roxas e amareladas, arenitos grossos a conglomeráticos, com matriz caulínica, pouco consolidados, pobremente selecionados, cinza esbranquiçados, amarelados a avermelhados. Essa formação dispõe-se como uma faixa contínua beirando toda a zona costeira do sul do Estado da Bahia e Norte do Espírito Santo, levando a exibir uma morfologia dominada por feições aplainadas. Consequentemente, os plantios avaliados se encontram em áreas planas, sendo que as altitudes dos talhões estudados não ultrapassam os 64 e 88 metros acima do nível do mar (a.n.m.) na região Aracruz e São Mateus, respectivamente.

De acordo com a carta de levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo (PANOSO, 1978) e os levantamentos realizados pela empresa, na região da área de estudo são encontradas as classes Latossolo e Podzólico. Estendendo a classificação até o terceiro nível hierárquico (Grande Grupo) predominam associações de Latossolo-Vermelho-Amarelo distrófico com textura argilosa, relevo plano a suave ondulado e Podzólico Vermelho-Amarelo, com textura média/argilosa e média/arenosa e relevo plano a suave ondulado. Na Tabela 3.3 são especificados os tipos de solo por parcela de acordo com levantamentos realizados pela empresa.

Tabela 3.3. Características pedológicas dos talhões avaliados.

Parcelas	Tipo de Solo
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 13, 23	PA1 - Argissolo Amarelo distrófico textura média/argilosa relevo plano
30	PA5 - Argissolo Amarelo distrófico textura arenosa/argilosa relevo plano
19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 32, 33, 34	PA6 - Argissolo Amarelo distrófico textura arenosa/média/argilosa relevo plano
17, 31	PA9 - Argissolo Amarelo distrófico textura arenosa/média relevo plano
14, 15	LA1 - Latossolo Amarelo coeso textura média/argilosa relevo plano
9, 16, 18	LA2 - Latossolo Amarelo coeso textura arenosa/média relevo plano
11, 12	ES1 - Espodossolo Ferrocárbico típico textura arenosa relevo plano
35, 36	PAC3 - Argissolo Acinzentado típico textura arenosa/média/argilosa relevo

3.2. Procedimento metodológico

Para auxiliar na compreensão da sistemática e da ordem dos trabalhos, é apresentado na Figura 3.5 um fluxograma das atividades, as quais serão detalhadas a seguir.

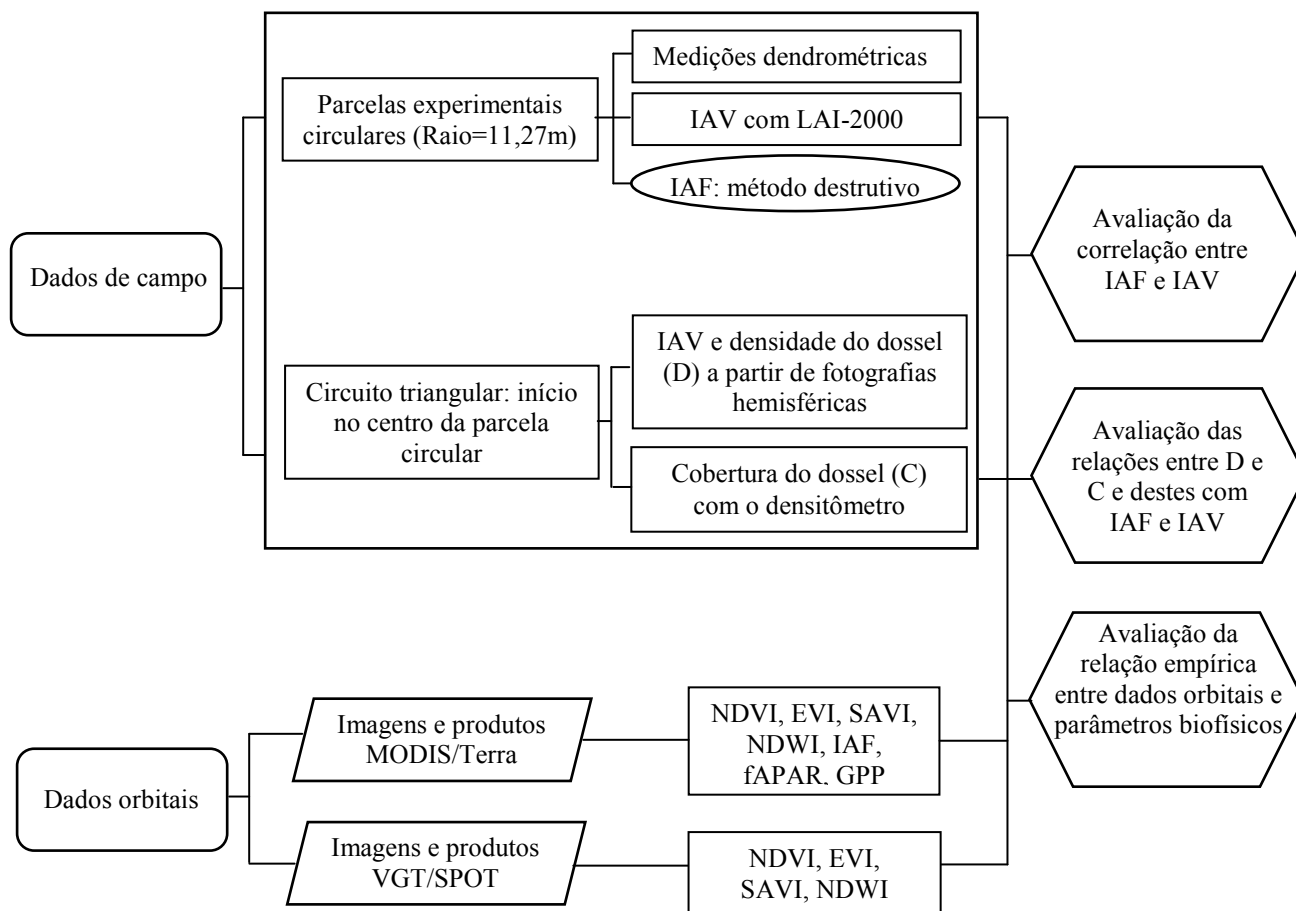


Figura 3.5. Fluxograma do procedimento metodológico nos dois períodos avaliados.

3.3. Dados de campo

Optou-se por realizar dois trabalhos de campo para que fossem verificados os possíveis efeitos da sazonalidade sobre as variáveis biofísicas avaliadas. Sendo assim, a primeira coleta de dados foi efetuada de 28 de Março a 07 de Abril de 2011 (referente ao período chuvoso) e a segunda campanha foi realizada de 19 a 28 de Setembro de 2011 (referente ao período seco).

A coleta de dados foi conduzida em 36 parcelas amostrais circulares de 400 m² (aproximadamente 11,27 metros de raio) instaladas em cada um dos talhões de eucalipto de diferentes idades, procurando, tanto quanto possível, explorar diversidade arquitetônica. O centro de cada uma das parcelas foi definido de forma arbitrária, buscando posicioná-las o mais distante possível das bordas dos talhões. Cada centro foi demarcado com uma estaca de madeira e suas coordenadas geográficas foram registradas mediante a utilização de um aparelho GPS (*Global Positioning System*).

3.3.1. Medições dendrométricas

Dentro de cada uma das 36 parcelas circulares de 400 m² foram coletados dados dendrométricos de todas as árvores – aproximadamente 45 indivíduos por parcela. Foram adquiridas medidas de circunferência à altura do peito (CAP), altura total (H) e altura do tronco (Ht). Ainda, tomando como referência o centro da parcela, foram selecionadas as 10 árvores mais próximas e, além do CAP, H e Hc, foram medidos os diâmetros da copa (tomado em dois eixos ortogonais entre si – Dc1 e Dc2), que possibilitaram calcular a área da elipse formada pela copa (Ac) (Equação 3.1) e, ao considerar sua altura, o volume da copa (Vc) (Equação 3.2).

$$Ac = \pi \times \frac{Dc1}{2} \times \frac{Dc2}{2} \quad (3.1)$$

$$Vc = \frac{\pi \times \frac{Dc1}{2} \times \frac{Dc2}{2} \times Hc}{3} \quad (3.2)$$

As medidas de CAP foram feitas mediante a utilização de fita métrica (Figura 3.6a) e o diâmetro à altura do peito (DAP) foi calculado através da seguinte relação:

$$DAP = \frac{CAP}{\pi} \quad (3.3)$$

A altura total (H) e a altura do tronco (Ht) foram medidas através do hipsômetro de medição ultrassônica Vertex IV (Haglöf, Suíça) a uma distância de 20 metros (Figura 3.6b). A partir das diferenças entre os valores de H e Ht foi calculada a altura da copa (Hc). Já as medidas de diâmetro da copa foram adquiridas com uma trena e o clinômetro (Suunto, Finlândia) auxiliou na precisão de visada da copa (Figura 3.6c).



Figura 3.6. Medição do CAP com a trena (a), da altura das árvores com o Vertex IV (b) e dos diâmetros da copa com o auxílio da trena e do clinômetro (c).

3.3.2. Cálculo do IAF a partir da amostragem destrutiva

Nas proximidades das 36 parcelas implantadas em cada um dos plantios - fora de seu raio de abrangência para não influenciar as futuras medidas dentro da parcela, mas ainda dentro do talhão - uma árvore foi abatida para o cálculo do IAF do talhão em cada campanha (totalizando 72 árvores derrubadas). A seleção desse indivíduo foi feita com base na média do DAP das árvores medidas dentro da parcela e, antes de sua derrubada, ele igualmente teve as medidas de Dc1 e Dc2 tomadas.

O processo de amostragem destrutiva prosseguiu da seguinte forma:

- 1) Derrubada da árvore selecionada (Figura 3.7a);
- 2) Mensuração da altura do tronco (H_t) e da altura da copa (H_c) com a trena, tomando o cuidado de considerar também a altura do toco (Figura 3.7b);
- 3) Remoção de todas as folhas verdes da copa em cima de uma lona plástica e depósito dessas folhas em caixas para que fosse efetuada sua pesagem (peso úmido total) (Figuras 3.7c e 3.7d);
- 4) Coleta de 100 folhas distribuídas ao longo da copa (de forma a englobar folhas de sol e de sombra), pesagem das mesmas (peso úmido da amostra) e armazenamento dessa amostra em saco plástico identificado dentro de um isopor para que fosse levada para o laboratório.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 3.7. Derrubada da árvore (a), mensuração da altura total (b), desfolhamento na lona (c) e pesagem das folhas úmidas (d).

Uma vez em ambiente de laboratório, as 100 folhas da amostra tiveram as áreas de seus limbos medidas através do aparelho de planimetria óptica (LI-3100), mostrado na Figura 3.8, e foram levadas para estufa a 60° C até que o peso estabilizasse para que fossem pesadas novamente (peso seco da amostra).



Figura 3.8. Aparelho de planimetria óptica LI-3100.

Com os valores do peso seco da amostra e de sua área foliar, foi possível determinar a Área Foliar Específica (AFE) do indivíduo, a qual relaciona a quantidade de área de folha por massa seca (Equação 3.3). A partir da razão massa seca/massa úmida da amostra, foi possível estimar o peso seco total das folhas da árvore abatida e, multiplicando o último pela AFE, estimou-se a área foliar total da árvore abatida (Equação 3.4).

$$AFE (m^2/Kg) = \frac{\text{Área foliar da amostra}}{\text{Peso seco da amostra}} \quad (3.3)$$

$$\text{Área foliar total } (m^2) = \text{Peso seco total estimado} \times AFE \quad (3.4)$$

Na tentativa de definir equações alométricas que predissessem a área foliar dos demais exemplares medidos na parcela, foram testadas diferentes combinações entre a área foliar total estimada e as medidas dendrométricas, como a H, a Hc, o Dc e o DAP, separando inclusive em grupos de idade, localidade (Aracruz ou São Mateus) e época de coleta dos dados (período chuvoso e período seco). No entanto, provavelmente devido à grande diversidade clonal e de idade dos talhões avaliados, não foram detectadas relações estatísticas significativas, principalmente para os dados coletados na segunda oportunidade. Como a relação da área foliar com o DAP foi a melhor, inclusive em

outros trabalhos, como o de Chen et al. (1997), o de Dovey e Du Toit (2006) e o de Le Maire et al. (2011a), a área foliar de cada uma das árvores da parcela foi estimada com base na relação entre o DAP e a área total de folhas do exemplar abatido da parcela em questão (Equação 3.5).

$$AFi (m^2) = \frac{DAPi * AFa}{DAPa} \quad (3.5)$$

Sendo que AFi é a estimativa de área foliar total do indivíduo medido na parcela, $DAPi$ é o valor do DAP deste indivíduo, AFa é a área foliar total da árvore abatida e $DAPa$ é a medida de DAP deste exemplar abatido.

Desta maneira, o cálculo do IAF se deu pela razão entre a soma da área foliar total estimada para todas as árvores medidas na parcela e a área da parcela ($400m^2$).

3.3.3. Medida do IAV com o LAI-2000

O equipamento LAI-2000 era dotado de dois dispositivos sensitivos: um foi mantido fora dos plantios e em condições de iluminação ambiente, geralmente em estradas ou pastos, tomando medidas de iluminação difusa a cada 30 segundos, enquanto o outro era levado ao interior das parcelas, onde, simultaneamente, foram efetuadas 25 medidas manualmente intercalando linhas e entrelinhas de plantio (Figura 3.9a).

O aparelho é capaz de proporcionar diferentes aberturas do campo de visão, no entanto, foi utilizado somente o ângulo de abertura de 45° (Figura 3.9b). Os dados eram armazenados na memória do próprio equipamento e, ao processá-los em seu software, resultava em valores de IAV médios para cada parcela. É importante ressaltar que as medidas foram realizadas em condições atmosféricas propícias e em horários que evitassem a radiação solar direta.

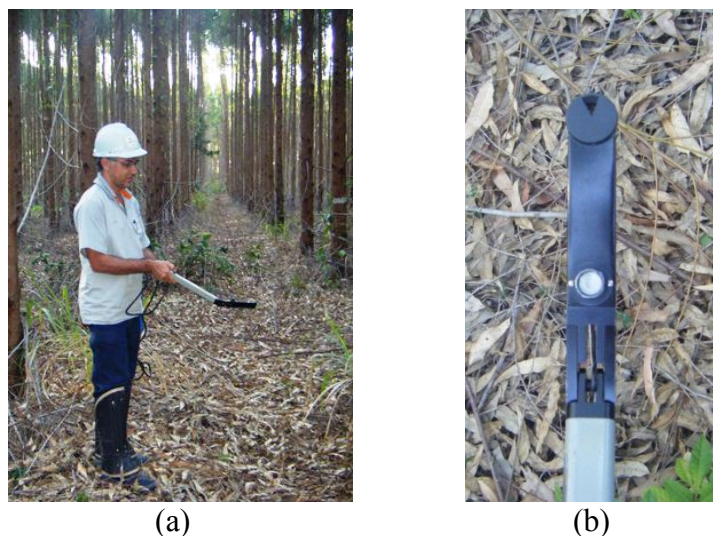


Figura 3.9. Medição com o LAI-2000 no interior dos dosséis (a) e detalhe do aparelho e da capa com ângulo de abertura de 45° utilizada durante a aquisição das medidas (b).

3.3.4. Cálculo do IAV e da densidade do dossel a partir de fotografias hemisféricas

Concomitantemente à aquisição das medições com o LAI-2000 e dos dados dendrométricos, a partir do centro de parcela, foi realizado um circuito triangular com laterais equiláteras de 100 metros para que fossem tomadas as fotografias hemisféricas. A disposição dessa amostragem foi feita de maneira a aproveitar o percurso proposto por Stumpf (2003) para o cálculo da cobertura florestal (descrito a seguir no Item 3.3.5). As direções foram traçadas a aproximadamente 60° de angulação interna, evitando seguir as linhas de plantio. Neste percurso, foi tomada uma foto a cada 50 metros, alternando linha e entrelinha de plantio, totalizando seis fotos por parcela (Figura 3.10).

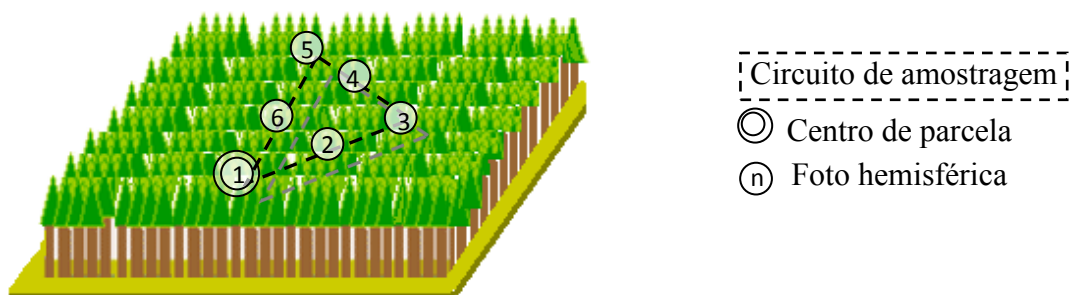


Figura 3.10. Esquema de circuito triangular de amostragem para a tomada das fotografias hemisféricas.

As fotografias foram tomadas em horários do dia nos quais não havia penetração de radiação solar direta no interior dos dosséis, preferencialmente um pouco antes do nascer do Sol e logo após o poente. Além disso, preocupou-se com as condições atmosféricas, já que a presença de nuvens causa erros na classificação dos elementos da imagem.

A aquisição das fotografias foi realizada utilizando os seguintes materiais:

- ✓ Máquina fotográfica Nikon;
- ✓ Lente *Fisheye* Sigma EX DG 8.0 mm;
- ✓ Tripé com plataforma para permitir visão ortogonal da câmara e altura de aproximadamente 1,5 m (Figura 3.11a);
- ✓ Bússola para orientar a parte superior das fotos sempre para o Norte magnético e
- ✓ Níveis de bolha, para garantir que as fotos estivessem perpendiculares ao zênite (Figura 3.11b).



(a)



(b)

Figura 3.11. Tripé utilizado para a tomada das fotografias (a) e detalhe da plataforma com os materiais utilizados durante o processo (b).

As fotografias resultantes foram submetidas ao processamento no aplicativo *HemiView* 2.1 (DELTA-T DEVICES LTD, 2009). Nesta etapa foi possível (i) editar as configurações do programa conforme o local do experimento, (ii) selecionar a lente utilizada (Sigma EX DG 8.0) para a correção das distorções no mapeamento do ângulo zênite, (iii) determinar um mesmo centro de circunferência de análise para todas as fotos - no caso, definido como 2144 na coordenada x e como 1424 na coordenada y -, (iv) fixar o tamanho do raio da circunferência de análise (1680 para este trabalho), (v) editar o dia da tomada da fotografia, o qual é baseado no sistema de contagem de tempo do dia do ano, (vi) regular o limiar de classificação das imagens e (vii) obter as estimativas de IAV e abertura ou densidade do dossel (D).

Quanto às configurações relacionadas ao local do experimento, foram adicionadas as coordenadas dos centros de parcela para o processamento de cada conjunto de seis fotos. A declinação magnética foi fixada em 23,21° Oeste e a altitude inserida de acordo com a média calculada para cada talhão. Por exemplo, a parcela 1 teve suas configurações definidas no software segundo as características da Tabela 3.4.

Tabela 3.4. Configurações definidas para o local da parcela 01 no software *HemiView*.

Parâmetro	Definição
Latitude*	19.45° S
Longitude*	40.06° W
Declinação magnética	23.21° W
Dia do ano	91 (31/março)
Altitude média	15

* Coordenadas em Projeção UTM, Datum WGS-84, Zona 23 S.

A etapa mais delicada do processamento das fotografias foi a definição do limiar de classificação (*threshold*), em que o aplicativo considera os pixels brancos (aqueles com valor acima do limite estabelecido) como céu e os pixels negros (valores abaixo do valor estabelecido) como biomassa vegetal. Na tentativa de minimizar a subjetividade durante o processo de demarcação do *threshold*, decidiu-se determinar um único valor de classificação por parcela.

Durante as análises, foram detectadas fotografias tomadas quando havia presença de nuvens, fazendo com que áreas de céu fossem classificadas erroneamente como biomassa, extrapolando os resultados (Figura 3.12). Essa questão pode ser resolvida

através da edição e eliminação dos elementos ou áreas indesejadas. No entanto, neste trabalho, essas fotografias foram descartadas.

Os valores de densidade do dossel (D), cujo conceito foi explicado no item 2.3.2, também são fornecidos pelo aplicativo e foram aproveitados neste estudo. Sendo assim, os valores estimados a partir das fotografias hemisféricas foram utilizados para calcular a média de IAV e D de cada parcela.

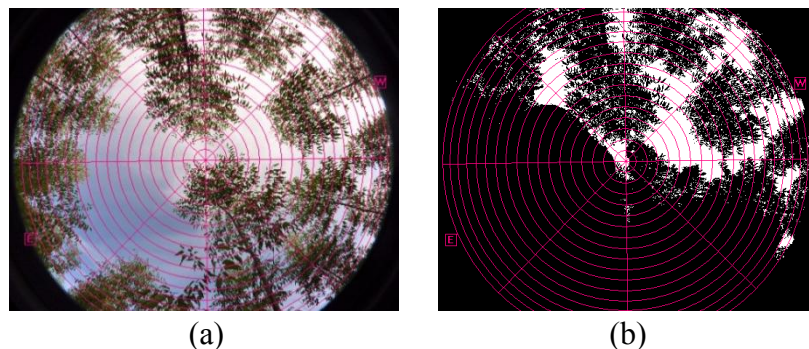


Figura 3.12. Fotografia hemisférica com clareira e condições atmosféricas não propícias (a) e sua classificação errônea em função principalmente da presença de nuvens (b).

3.3.5. Cálculo da cobertura florestal com auxílio do densitômetro vertical

A metodologia utilizada para a determinação da cobertura florestal (C) foi a proposta por Stumpf (1993). O mesmo circuito percorrido para a tomada das fotografias hemisféricas (Item 3.3.4) foi usado, portanto, para fazer medidas com o densitômetro vertical. Neste caso, a leitura foi realizada a cada três metros com o densitômetro apontado para cima, anotando se o ponto amostral interceptava o dossel ou não. Foram medidos 33 pontos amostrais em dois lados do triângulo e 34 pontos no terceiro lado, totalizando 100 pontos por triângulo amostrado (Figura 3.13).

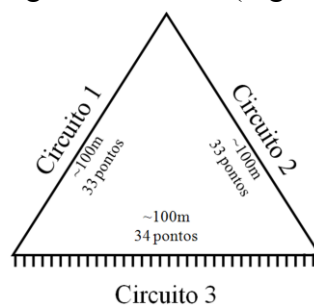


Figura 3.13. Formato do circuito em triângulo percorrido com o densitômetro.
Fonte: Adaptado de Stumpf (1993).

A estimativa final da cobertura florestal foi calculada a partir da divisão entre o número de pontos que interceptam o dossel e a quantidade total de pontos amostrados. Deste modo, se, por exemplo, em um dos percursos pelo triângulo 70 pontos corresponderam à presença de elementos de copa e 30 pontos ausentes desses elementos, a porcentagem da cobertura florestal foi de 70%.

3.4. Produtos MODIS

Foram adquiridos os produtos do sensor MODIS do satélite Terra especificados na Tabela 3.5 via ftp (*File Transfer Protocol*, Protocolo de Transferência de Arquivos) na página do GLOVIS (<http://glovis.usgs.gov/>).

Tabela 3.5. Especificações dos produtos MODIS adquiridos.

Produto	Conteúdo	Especificações	Resolução	Tile	Datas*	
					Período chuvoso	Período seco
MOD09A1	Reflectância de Superfície	Bandas 1 a 7; composição de 8 dias	500 m	h14v10	89/2011	265/2011
MOD13Q1	EVI e NDVI, reflectância	Bandas 1, 3, 4 e 7. Composição de 16 dias	250 m		81/2011	257/2011
MOD15A2	fAPAR e LAI	Composição de 8 dias	1 km		89/2011	265/2011
MOD17A2	GPP	Composição de 8 dias	1 km		89/2011	265/2011

*A contagem do tempo dos produtos MODIS é em dia do ano: 89 refere-se ao dia 30 de Março, por exemplo, e 265 a 22 de Setembro.

Paralelamente, para lidar com os produtos, foi obtida a ferramenta MRT, disponibilizada na página do LP DAAC (*Land Processes Distributed Active Archive Center*): https://lpdaac.usgs.gov/tools/modis_reprojection_tool. Através da ferramenta, os arquivos foram então convertidos de HDF para GeoTiff e a projeção foi transformada pelo método de reamostragem do vizinho mais próximo de Sinusoidal para Geográfica, Datum WGS84. O tamanho dos pixels foi mantido o mesmo do original – 0,00225° para os produtos de 250 m de resolução, 0,0045° para aqueles com 500 m de resolução e 0,009° para os com resolução de 1000 m.

Quanto às informações de qualidade dos pixels, foram considerados somente os bits de interesse do QA (*Quality Assurance*) de cada produto. Para isso, no aplicativo ENVI, utilizou-se da ferramenta *Band Math* e foram selecionados somente os dois primeiros bits das imagens. Na Tabela 3.6 podem ser encontradas as diferentes combinações dos

bits, o valor do pixel em função desses bits ativos e sua interpretação quanto à qualidade para os diferentes produtos. Mais informações quanto ao arquivo de qualidade podem ser encontradas em NASA LP DAAC (2012).

Tabela 3.6. Combinação dos dois primeiros bits selecionados, valores dos pixels e suas interpretações quanto ao QA (*Quality Assurance*) dos produtos MODIS utilizados.

Combinação dos bits selecionados	Valor do pixel	Interpretação				
		MOD13Q1 (VI Quality)	MOD09A1 (Band Quality)	MOD15A2 e MOD17A2		
<table border="1"><tr><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	VI produzido com boa qualidade	Produzido em qualidade ideal para todas as bandas	Melhor possível
0	0					
<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	$2^0=1$	VI produzido, porém checar outros parâmetros de qualidade	Produzido abaixo da qualidade ideal para algumas ou todas as bandas	Qualidade Boa
0	1					
<table border="1"><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	0	$2^1=2$	Pixel produzido, porém com nuvens	Não produzidos devido às nuvens para todas as bandas	Não produzido devido a nuvens
1	0					
<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	$2^0+2^1=3$	Pixel não produzido devido a outras razões	Não produzido por outros motivos para algumas ou todas as bandas	Não produzido por outros motivos
1	1					

Esses arquivos convertidos foram então agregados a um banco de dados criado no aplicativo ArcGis 4.3. Com base nas coordenadas dos centros das parcelas e nos polígonos dos talhões avaliados, foi possível localizá-los nas imagens. Em decorrência de algumas parcelas estarem localizadas relativamente próximas às bordas dos talhões e, com o intuito de minimizar a influência de pixels vizinhos referentes a outros alvos, foram selecionados os pixels mais representativos para extração dos valores digitais em ambas as datas avaliadas, levando em consideração também as informações de qualidade dos mesmos. Contudo, cabe salientar que não houve escapatória da influência de outros alvos devido à resolução dos produtos, que acabaram por considerar outros elementos próximos aos talhões, conforme representado na Figura 3.14.

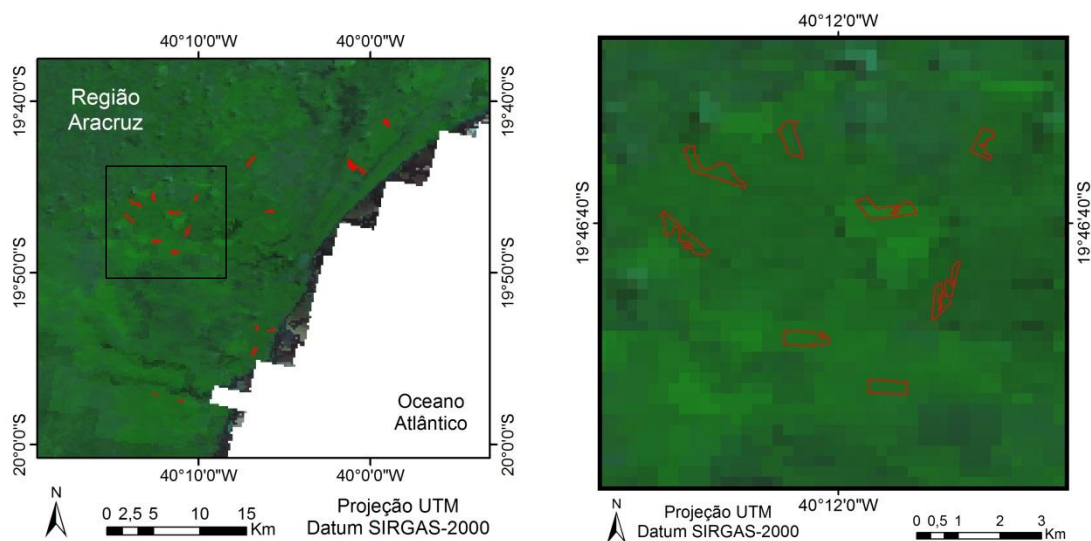


Figura 3.14. Composição colorida falsa-cor RGB (bandas 1, 2, 3) do produto MOD13Q1 de 14 de Setembro de 2011, com resolução espacial de 250 m, destacando os talhões avaliados na região Aracruz em vermelho.

Os valores extraídos foram armazenados em planilhas do programa Excel e ainda precisaram ser transformados em valores analíticos. Para isso, foram utilizados os valores referidos como *Scale Factor* e *Offset*, específicos para cada produto (Tabela 3.7), mediante a equação de conversão (Equação 3.6) explicada nos guias de usuários dos produtos MODIS (HEINSCH et al., 2003; MYNENI et al., 2003; SOLANO et al., 2010; VERMOTE et al., 2011).

$$\text{Valor analítico pixel} = \text{Scale Factor} * (\text{Valor digital pixel} - \text{Offset}) \quad (3.6)$$

Tabela 3.7. Valores específicos por produto MODIS para transformação dos valores digitais dos pixels em valores analíticos.

Produto	<i>Scale Factor</i>	<i>Offset</i>
MOD09A1	0,0001	0
MOD13Q1	0,0001	0
MOD15A2 - IAF	0,1	0
MOD15A2 - fAPAR	0,01	0
MOD17A2	0,0001	0

Após a extração das informações das 36 parcelas, prosseguiu-se com o cálculo dos demais IV (NDWI e SAVI) para ambas as datas avaliadas com base nos valores de FRB das bandas necessárias com resolução de 250 e 500 m (os IV e suas fórmulas são

detalhados no Item 2.3.3). Além disso, a partir dos valores de FRB foi possível caracterizar espectralmente os dosséis florestais de eucalipto nas duas épocas do ano.

3.5. Produtos VGT

Inicialmente, na página da VITO (<http://free.vgt.vito.be>) adquiriram-se os produtos S10 do sensor Vegetation-2 (VGT) a bordo do satélite SPOT-5 referente à região da América do Sul (*S-America*). Ao selecionar a opção de formato em NDVI, o produto com resolução de 1 km fornece também os valores de reflectância nas quatro bandas do sensor. As datas selecionadas foram de 01 de Abril de 2011 e 21 de Setembro de 2011, que abrangem os dois períodos de coleta de dados em campo.

Na mesma página é disponibilizada a ferramenta VGTEExtract, que foi utilizada para descompactar o produto, converter os arquivos em HDF para GeoTiff, além de selecionar uma região de interesse (*Region of Interest, ROI*) que cobrisse a área onde se encontram os talhões avaliados.

Com relação ao *Status Map* (SM), que traz as informações de qualidade dos pixels, assim como para os arquivos de qualidade do MODIS (QA), foram selecionados os dois primeiros bits através da ferramenta *Band Math* do programa ENVI. A combinação desses bits, bem como os valores dos pixels e suas interpretações para os produtos S10 são apresentados na Tabela 3.8.

Tabela 3.8. Combinação dos dois primeiros bits selecionados, valores dos pixels e suas interpretações quanto ao *Status Map* (SM) dos produtos VGT-S10.

Combinação dos bits selecionados	Valor do pixel	Interpretação		
<table><tr><td>0</td><td>0</td></tr></table>	0	0	0	Limpo
0	0			
<table><tr><td>0</td><td>1</td></tr></table>	0	1	1	Sombra
0	1			
<table><tr><td>1</td><td>0</td></tr></table>	1	0	2	Incerto
1	0			
<table><tr><td>1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	3	Nuvem
1	1			

Os arquivos convertidos foram adicionados ao mesmo banco de dados do aplicativo ArcGis 4.3 em que foram realizadas as análises dos produtos MODIS.

Semelhantemente, foram encontrados nas imagens os talhões avaliados com base nos seus polígonos e coordenadas de centros de parcela (Figura 3.15). Os valores dos pixels representativos e de boa qualidade foram registrados em uma planilha do programa Excel para serem transformados com base nos fatores dos produtos VGT-S10 (Tabela 3.9) e na fórmula para codificação (Equação 3.6). Mais informações podem ser encontradas no guia dos produtos VGT (SAINT, 1994).

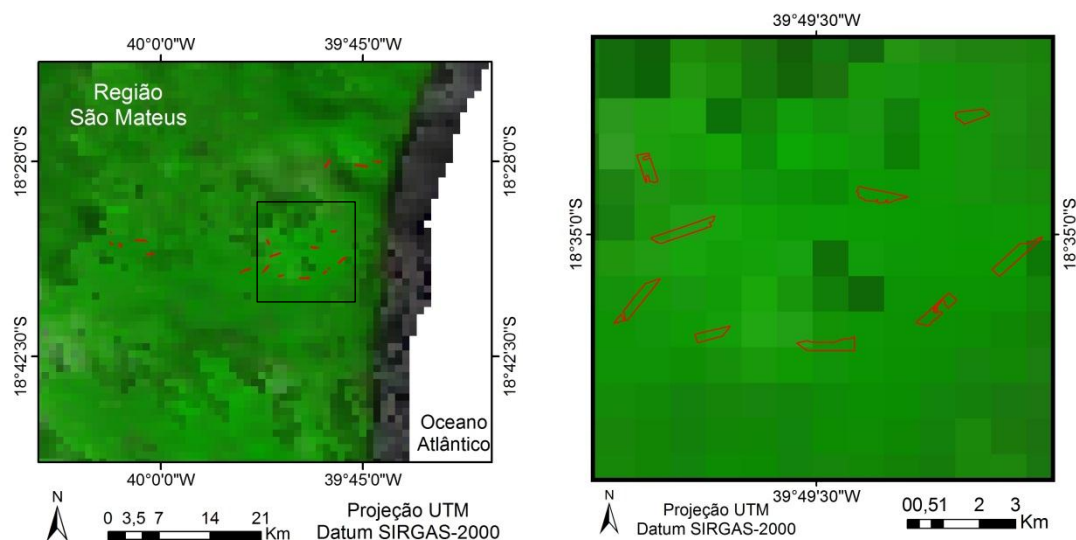


Figura 3.15. Composição colorida falsa-cor RGB (bandas 1, 2, 3) do produto S-10 de 01 de Abril de 2011 do sensor VGT/SPOT, com resolução espacial de 1 km, destacando os talhões avaliados na região São Mateus em vermelho.

Tabela 3.9. Valores específicos dos produtos VGT-S10 para transformação dos valores digitais dos pixels em valores analíticos.

Produto	Scale Factor	Offset
NDVI	0,004	-0,1
Reflectância nas 4 bandas	0,0005	0

A seguir, o EVI, o SAVI e o NDWI foram calculados a partir das médias dos valores de FRB das bandas do sensor VGT em ambas as datas, mediante as equações descritas no Item 2.3.3. Além disso, a mesma caracterização espectral dos dosséis nos dois períodos climáticos feita com os dados MODIS foi realizada em função dos valores de FRB das quatro bandas do sensor VGT.

3.6. Análise estatística

Ao final das coletas de dados em campo e do processamento dos mesmos, a comparação entre a metodologia destrutiva e aquelas indiretas para os dois períodos de avaliação foi feita mediante a aplicação de testes de significância dos parâmetros dos modelos de uma regressão linear simples (MRLS) (Equação 3.7) no programa Excel. A ideia que norteou essa aplicação foi originada no fato de que a comparação envolvia amostras pareadas, cujas médias em termos absolutos não poderiam ser comparadas entre si. Assim, mais importante do que avaliar diferenças significativas entre valores médios dos parâmetros resultantes da aplicação das metodologias em questão, seria mais interessante avaliar a aderência das estimativas em cada ponto e o comportamento dessas estimativas nas 36 parcelas.

$$\hat{Y}_i = \beta_0 + \beta_1 X_i \quad (3.7)$$

Onde: $\hat{Y}_i$ é a variável dependente ou explicada, X_i é a variável independente ou explicativa e β_0 e β_1 são, respectivamente, o intercepto e a inclinação da reta e recebem o nome de coeficientes de regressão. O coeficiente β_1 mede a quantidade de mudança esperada na variável dependente (eixo y) para cada unidade de mudança da variável independente (eixo x), sendo que seu sinal indica o sentido do relacionamento (correlação positiva ou negativa).

Primeiramente, assumindo o método destrutivo como referência, as comparações se seguiram entre os valores de IAF e as estimativas de IAV obtidas com o LAI-2000 e com as fotografias hemisféricas para os dois períodos climáticos. Logo, consideraram-se as hipóteses de $\beta_0=0$ e $\beta_1=1$, ou seja, que no estabelecimento da regressão linear entre os valores de dois métodos, se $\beta_0=0$ e $\beta_1=1$, os valores observados em cada parcela seriam exatamente os mesmos, pois a reta resultante passaria pela origem dos eixos x e y e sua inclinação seria de 45° (tangente de 45° = 1) (Figura 3.16).

Em primeiro lugar, com base na análise de variância (ANOVA), testou-se a significância da regressão, ou seja, se β_1 seria diferente de 0. Cabe ressaltar que, ao ajustar uma equação de regressão aos dados, na maioria das vezes o valor observado de y (Y_i) não corresponde exatamente ao valor predito de y ($\hat{Y}_i$) pela equação de regressão

e a esta diferença chamamos de resíduos ou variação residual ($Y_{res} = Y_i - \hat{Y}_i$). A ANOVA avalia a variação dos valores de Y_i em torno de sua média ($\bar{Y}$) explicada pela regressão. Para isso considera a Soma de Quadrados da Regressão (SQR) (Equação 3.7) e a diferença entre os valores de Y_i observados (neste caso, os valores de IAF obtidos pelo método destrutivo) e $\hat{Y}_i$ preditos (valores estimados pela equação de regressão em função dos valores de IAV obtidos com o LAI-2000 e com as fotografias hemisféricas), referida como a Soma de Quadrados do Erro (SQE) (Equação 3.8; Figura 3.16). Para examinar a significância da regressão, empregou-se a distribuição F de Fischer Snedecor. O valor F é calculado a partir da razão entre o SQR (Equação 3.8) e o Erro Quadrático Médio (EQM), sendo o último obtido pela divisão da SQE por seus graus de liberdade (Equação 3.9). Uma vez que o F calculado é maior que o F tabelado, rejeita-se H_0 ($\beta_1=0$) e se aceita H_1 ($\beta_1 \neq 0$), concluindo-se que a regressão é significativa.

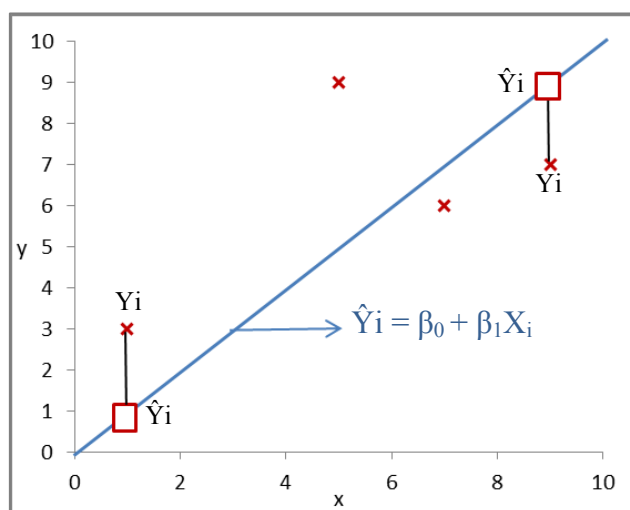


Figura 3.16. Desvio dos dados observados Y_i em torno de uma linha de regressão ajustada, em que os valores preditos referem-se à $\hat{Y}_i$.

Fonte: Adaptada de Kutner et al. (2005).

$$\text{Soma dos Quadrados da Regressão (SQR)} = \sum_{i=1}^n (\hat{Y}_i - \bar{Y})^2 \quad (3.8)$$

$$\text{Erro Quadrático Médio (EQM)} = \frac{SQE}{GL} = \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2}{n-2} \quad (3.9)$$

Em seguida, foram testadas as hipóteses $\beta_0=0$ e $\beta_1=1$ através da aplicação do teste simultâneo com nível de confiança de 95% proposto por Neter e Wasserman (1974), baseado na distribuição t de Student. Neste caso, com relação ao coeficiente β_0 , quando

o valor da probabilidade calculada a partir do t calculado for superior a 5%, conclui-se que β_0 pode ser zero, ou seja, o intercepto pode passar pela origem. Sendo esta hipótese verdadeira, quanto a β_1 , a avaliação é correspondente ao teste F aplicado anteriormente, já considerando a sua impossibilidade de ser igual a zero. A abordagem proposta por este autor, assumindo que $\beta_0=0$, define um intervalo de confiança para valores de β_1 representado por uma elipse. Ainda, foi avaliado o coeficiente de determinação (R^2), que mostra o percentual da variância de umas das variáveis que pode ser explicado a partir do valor da outra, e o gráfico dos resíduos padronizados: dados observados (eixo x) versus resíduos padronizados (eixo y). Neste último, se os pontos estiverem distribuídos dentro do intervalo $[-2,2]$ considera-se que o modelo está bem ajustado e espera-se que menos de 5% dos resíduos se posicionem fora do intervalo.

As equações de regressão foram estabelecidas também para comparar a relação entre as estimativas de IAV obtidas com LAI-2000 e aquelas obtidas através do processamento das fotografias hemisféricas. Além disso, verificou-se a relação entre as medidas de IAF e IAV com as variáveis D e C, assim como a relação entre as duas últimas.

Quanto aos dados orbitais, foram avaliadas as correlações entre os IV calculados e extraídos a partir dos diferentes produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os resultados de IAV, IAF, D e C adquiridos nos dois períodos do ano.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Avaliação dos parâmetros dendrométricos medidos no inventário florestal

A partir dos dados coletados nas duas épocas climáticas, foi possível avaliar a variação dos parâmetros dendrométricos ao longo do ciclo produtivo do gênero *Eucalyptus* e verificar as possíveis diferenças no crescimento dos talhões instalados nas regiões Aracruz e São Mateus.

Primeiramente, as 36 parcelas foram agrupadas em classes de idade, desconsiderando sua diversidade genética, condições ambientais (tipo de solo e localidade) e oportunidade de coleta dos dados (período chuvoso e período seco). As médias das variáveis dendrométricas DAP, H, Ht e Hc de cada talhão foram calculadas a partir dos valores médios dos aproximadamente 45 indivíduos medidos em cada parcela de 400 m² instalada. Já as médias de Ac e Vc foram computadas com base nas médias das 10 árvores medidas ao redor dos centros das parcelas. Os gráficos da Figura 4.1 mostram o comportamento desses parâmetros ao longo do crescimento, evidenciando a média e os desvios mínimo e máximo de cada classe de idade, calculados em função das médias dos plantios considerados em cada grupo. Nota-se que, nas classes mais jovens, as medidas de DAP, H e Ht foram diretamente proporcionais às idades dos plantios, ou seja, quanto mais velhos os povoamentos, maiores os valores dessas variáveis. Já nas idades mais avançadas, pareceu haver certa estabilidade nesse crescimento. Em compensação, a Hc, a Ac e o Vc apresentaram uma tendência a diminuir com o aumento da idade dos povoamentos, resultado esse esperado visto que plantios mais novos apresentam maior biomassa foliar que os plantios mais antigos e são caracterizados inclusive por uma maior abertura entre as copas (CANAVESI, 2008; PACHECO, 2010).

As médias dos dados dendrométricos coletados para cada parcela visitada nos dois períodos climáticos, bem como informações características dos talhões, são apresentadas nos apêndices A e B deste documento.

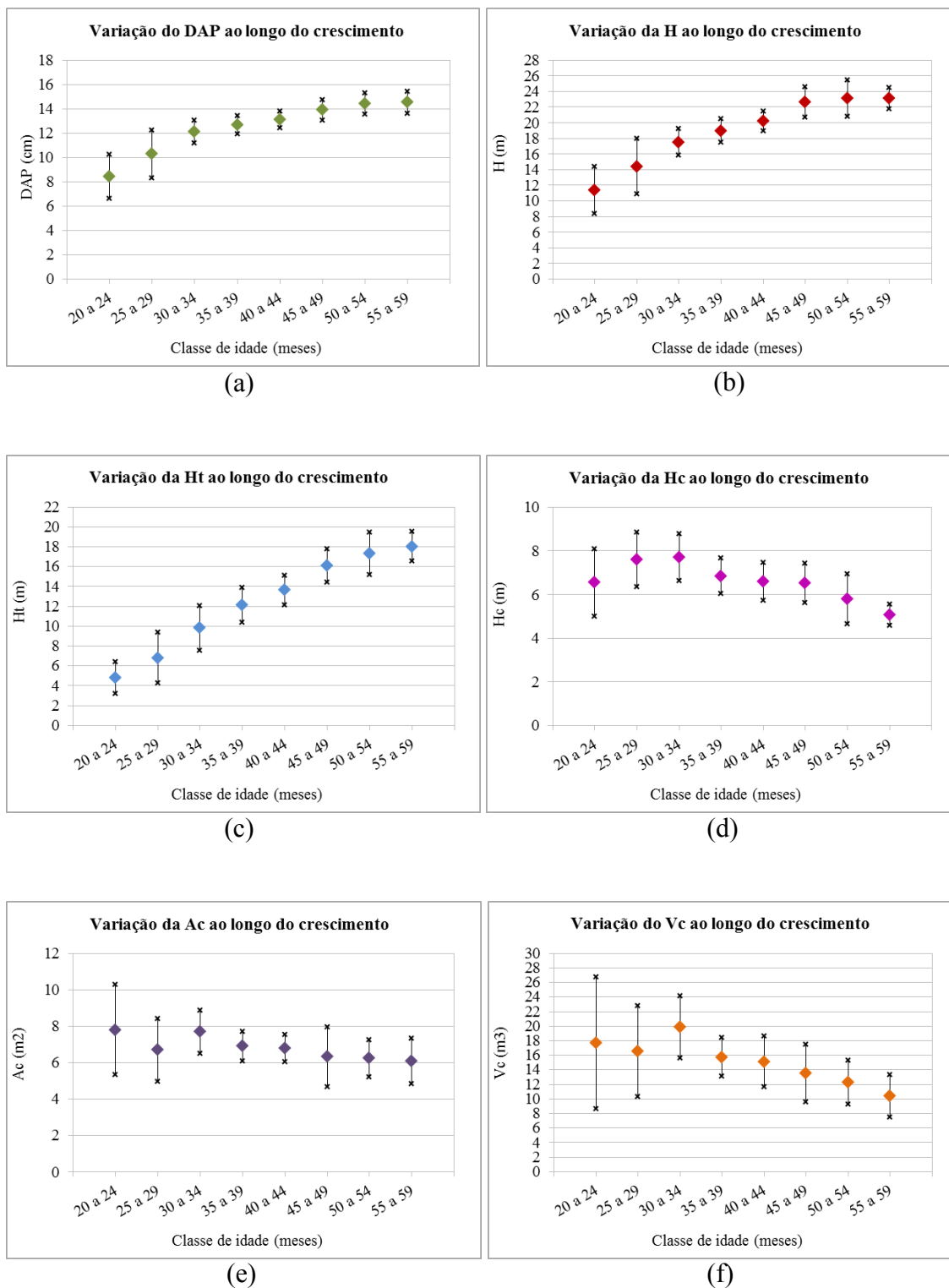


Figura 4.1. Variação dos parâmetros dendrométricos em função da idade: Diâmetro à altura do peito (DAP) (a), altura total (H) (b), altura do tronco (Ht) (c), altura da copa (Hc) (d), área da elipse da copa (Ac) (e) e volume da copa (Vc) (f).

Ao avaliar a média geral do crescimento das parcelas instaladas nas diferentes regiões durante os seis meses transcorridos entre a primeira e a segunda coleta de dados, o crescimento médio em relação ao DAP da região Aracruz foi de 0,97 cm (uma média inicial de 12,41 cm e final de 13,38 cm), enquanto o da região São Mateus foi de 0,86 cm (sendo a média da primeira coleta de 11,18 cm e da segunda de 12,04 cm). Já com relação à altura, a média do incremento foi de 2,41 m (de uma média de 18,16 m para 20,56 m) e 1,52 m (média inicial de 16,79 m e final de 18,30 m) nas regiões Aracruz e São Mateus, respectivamente. Dentro deste contexto, comparam-se ainda as médias dos parâmetros dendrométricos coletados no período chuvoso dos plantios da espécie *Eucalyptus grandis* de 22 meses implantados a partir de rebrota na região Aracruz (parcelas 16 e 17) e na região São Mateus (parcelas 22 e 23), os quais são expostos na Tabela 4.1. A seleção dessa espécie e idade se deu por se tratar da única possibilidade de avaliação neste sentido. Esses resultados, portanto, levam a crer que plantios de uma mesma espécie com idades iguais implantados em condição de manejo análoga, quando em condições ambientais distintas, apresentam crescimento diferenciado (PEREIRA et al., 2008; TONELLO, 2010). Neste caso, essas diferenças de crescimento nas duas regiões podem estar vinculadas a uma maior disponibilidade hídrica na região Aracruz (como pode ser apreciado nos gráficos das Figuras 3.3 e 3.4), mostrando que a quantidade de água disponível no solo influencia nas atividades fisiológicas e, conseqüentemente, no desenvolvimento dos eucaliptais, como comprovado por Maestri (2003), Pereira et al. (2008), Sette et al. (2010), Souza et al. (2006) e Tonello (2010).

Tabela 4.1. Médias dos parâmetros dendrométricos de plantios de mesmo material genético (*E. grandis*) e idade (22 meses) em mesma condição de manejo (rebrota), localizados em diferentes regiões: Aracruz e São Mateus.

		DAP (cm)	H (m)	Ht (m)
Região Aracruz	Parcela 16	9,65	12,35	5,22
	Parcela 17	10,08	13,81	6,28
	Média	9,86	13,08	5,75
Região São Mateus	Parcela 22	6,75	9,32	3,60
	Parcela 23	6,50	7,77	3,84
	Média	6,63	8,54	3,72

4.2. Análise dos valores de IAF e IAV estimados a partir das diferentes técnicas

Nesta etapa, foi avaliada a variação de IAF e IAV que pudesse estar vinculada às diminuições de precipitação e temperatura nos dois períodos do ano avaliados, de uma maneira geral e para cada região separadamente. Além disso, procurou-se verificar o comportamento desse dado biofísico ao longo do crescimento de alguns dos clones que possibilitassem fazer esse tipo de análise. Finalmente, foram comparados os valores obtidos a partir dos diferentes métodos, no intuito de verificar a aderência de suas estimativas nas duas estações climáticas.

Ao confrontar as médias totais dos dois períodos climáticos, foi notada diminuição dos valores de IAF e IAV (Tabela 4.2), que, além de poder ser influenciada por um acréscimo de seis meses na idade dos indivíduos, reflete a queda das folhas no sub-bosque durante essa temporada com menor precipitação. Os métodos indiretos baseados na fração de aberturas ou *gap fraction* (LAI-2000 e fotografias hemisféricas) também foram sensíveis a essa mudança na área foliar dos eucaliptais, já que os valores de IAV estimados diminuíram consideravelmente de uma temporada para a outra. Ao comparar os valores de IAF e IAV estimados para os plantios do clone G44X641/2 instalados na região Aracruz sobre o mesmo tipo de solo (PA1) com 35 meses durante o período chuvoso (parcela 7) e com 36 meses na estação seca (parcela 2), foi possível verificar diminuição nos valores de IAF e de IAV de uma temporada para outra, variação a qual pode ser também observada nas fotografias hemisféricas dos respectivos dosséis tomadas nas duas ocasiões (Figura 4.2). Ressalta-se que foram avaliadas estas parcelas especificamente por serem as únicas a permitir avaliar essa variação no dossel de uma estação para outra, em uma mesma região, com idades aproximadas. Essa queda de folhas está vinculada à transpiração, processo fisiológico que controla as trocas gasosas da planta e depende substancialmente da disponibilidade de água, que, em última instância, regula a condutância estomática (SOARES et al., 1997). De fato, Tatagiba et al. (2007) observaram redução da condutância estomática e da fotossíntese em plantios de *E. grandis* durante a época seca quando comparada à estação chuvosa em todos os horários ao longo do dia. Também Soares et al. (1997), ao avaliar o balanço de água em clones de eucalipto, observaram que ao final da estação seca as taxas de transpiração eram cinco vezes menores do que aquelas que ocorriam no verão úmido em dias claros,

resultado semelhante àquele de Tonello (2010). Sendo assim, o fechamento dos estômatos durante a estação seca provoca a diminuição das atividades fotossintéticas, diminuindo a eficiência do processo de fixação de carbono e suprimindo a formação e expansão foliar (TATAGIBA et al., 2007), como constatado em plantios florestais clonais de eucalipto por Almeida e Soares (2003), Le Maire et al. (2011a) e Paiva (2009).

Cabe ressaltar que foi localizada uma incoerência no registro do valor do peso úmido total da parcela 1 e, por conseguinte, foram incorporados somente 35 dos resultados de IAF obtidos pelo método destrutivo e de IAV obtidos pelos métodos indiretos a esta análise. Os valores de AFE (Kg/m^2), IAF destrutivo (m^2/m^2) e IAV (m^2/m^2) estimados com o LAI-2000 e com as fotografias hemisféricas para cada uma das 36 parcelas são relacionados no Apêndice C deste documento.

Tabela 4.2. Valores das médias totais de IAF (método destrutivo) e IAV (LAI-2000 e fotografias hemisféricas) para as duas épocas climáticas.

	Média total		
	IAF (destrutivo) (m^2/m^2)	IAV (LAI-2000) (m^2/m^2)	IAV (Fotografias) (m^2/m^2)
Período chuvoso (Campo 1)	3,09	2,59	2,10
Período seco (Campo 2)	2,28	1,91	1,65

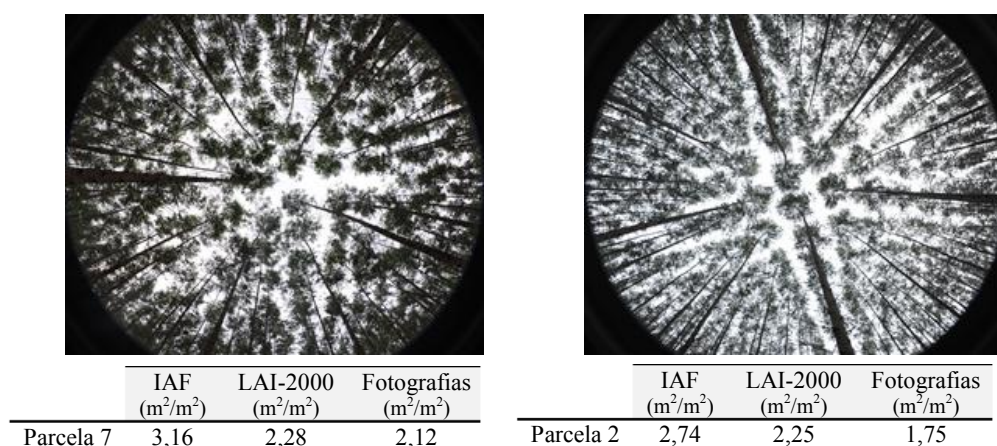


Figura 4.2. Fotografias hemisféricas e valores estimados de IAF e IAV do clone G44X641/2 aos 35 meses no período chuvoso (a) e aos 36 meses no período seco (b).

A média de todos os valores de IAF e IAV das parcelas localizadas na região Aracruz foi maior do que aquelas implantadas na região São Mateus (Figura 4.3), levando a crer

mais uma vez que as condições ambientais podem ter influenciado no desenvolvimento dos eucaliptais que, conseqüentemente, refletiram nas propriedades biofísicas do dossel (PAIVA, 2009). Os resultados possibilitaram inclusive constatar que os plantios localizados na região Aracruz foram mais afetados pela mudança nos padrões de precipitação, uma vez que as variações de IAF e IAV foram mais contrastantes entre uma estação e outra nessa região. As médias dos valores de IAF e IAV de plantios de *E. grandis* de 22 meses implantados a partir de rebrota na região Aracruz (parcelas 16 e 17) foram maiores do que aqueles implantados na região São Mateus (parcelas 22 e 23) nas duas estações climáticas, como exposto nos gráficos da Figura 4.4. As fotografias hemisféricas desses talhões (parcelas 16 e 23) tomadas durante a estação chuvosa mostram a grande variação no dossel influenciada pelas condições ambientais, ainda que se trate da mesma espécie (Figura 4.5).

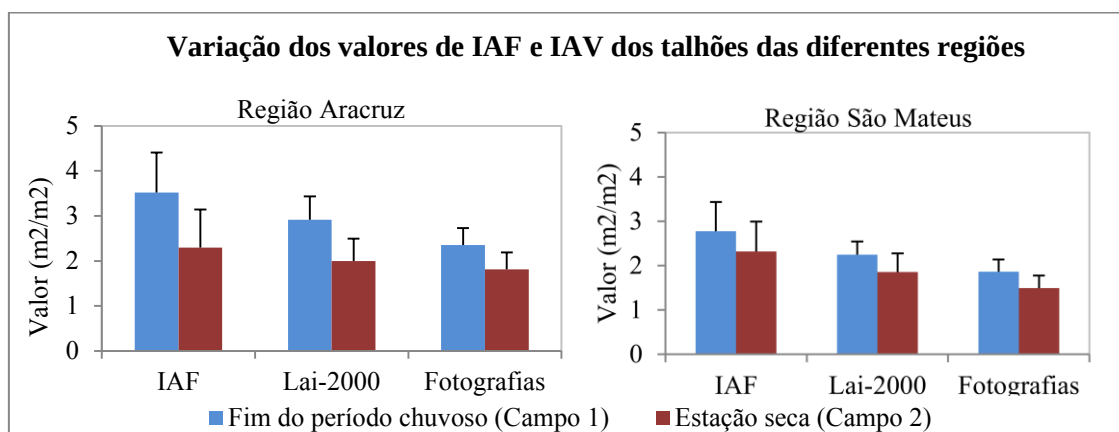


Figura 4.3. Valores médios de IAF e IAV das parcelas das diferentes regiões.

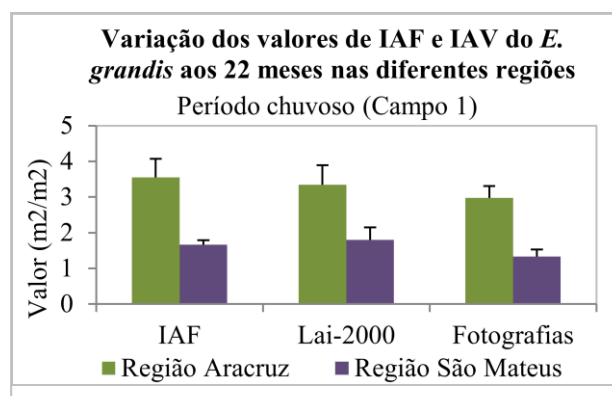


Figura 4.4. Valores de IAF e IAV de clones de *E. grandis* de 22 meses localizados em diferentes regiões.



Figura 4.5. Fotografias hemisféricas tomadas durante o período chuvoso dos plantios de *E. grandis* com 22 meses na região Aracruz (a) e na região São Mateus (b).

Os valores de IAF e IAV obtidos pelos diferentes métodos se aproximaram daqueles encontrados em outros estudos. Xavier et al. (2002) determinaram valores de IAV a partir do LAI-2000 para plantios de *E. grandis* no estado do Espírito Santo com espaçamento 3,0 x 3,0 m de aproximadamente 3,5 m²/m² para talhões com 20 meses, chegando a medirem um IAV de 1,72 m²/m² para talhões com idade de 60 meses. Dovey e du Toit (2006) encontraram valores médios de IAV com o LAI-2000 de 3,80 m²/m² para plantios de *E. grandis* aos 36 meses na África do Sul com um espaçamento 2,44 x 2,44 m, e uma média de 4,1 m²/m² aos 24 meses implantados nas mesmas condições. Paiva (2009) determinou valores de IAF pelo método destrutivo para plantios clonais de eucalipto em Minas Gerais aos 32 e 58 meses que variaram entre 3,03 e 1,98 e m²/m², respectivamente, enquanto a partir do LAI-2000 e das fotografias hemisféricas esses valores foram relativamente mais baixos. Os valores de IAF (destrutivo) determinados no trabalho de Le Maire et al. (2011a) para plantios clonais de eucalipto entre 12 e 60 meses no estado de São Paulo também são próximos dos encontrados neste estudo, variando entre 3,5 e 4,5 m²/m² durante a estação úmida e entre 2 e 3,5 m²/m² na estação seca.

Visto que as variações sazonais e ambientais refletiram nas características dos dosséis dos eucaliptais, a verificação do comportamento do IAF e do IAV ao longo do desenvolvimento dos plantios foi feita para os dois períodos do ano e regiões de estudo separadamente. Além disso, como esse parâmetro biofísico é influenciado por propriedades específicas de cada espécie, como distribuição angular das folhas (DAF),

além do tamanho e forma das mesmas (JONCKHEERE et al., 2004; XAVIER et al., 2002), alguns dos resultados foram agrupados em função do material genético, sendo que aqui são apresentados somente aqueles com representantes que possibilitassem averiguar o comportamento dessa variável em idades relativamente distantes ao longo do ciclo produtivo. Desta forma, os valores calculados através das diferentes metodologias foram plotados e, como em alguns casos não havia mais de um representante da mesma idade, o desvio padrão não foi considerado (Figuras 4.6 a 4.8).

Xavier et al. (2002), ao avaliarem plantios de *E. grandis* no Espírito Santo, verificaram que para alguns dos clones havia uma queda linear do IAF com a idade, como também constatado aqui para o intervalo de idade analisado para os plantios do clone G44X227/1 em ambas as regiões e estações climáticas avaliadas (Figura 4.6). De fato, as fotografias hemisféricas tomadas durante o período chuvoso de plantios deste clone implantados com mesmo espaçamento (3,0 x 3,0 m) na região São Mateus permitem visualizar a diminuição da quantidade de folhas da parcela 35, com 31 meses, e da parcela 30, com 48 meses (Figura 4.9). Tendência parecida foi notada para o clone G44X641/2 que, no entanto, na região de São Mateus, mostrou aumento nos valores de IAF e de IAV nas idades mais jovens, que voltaram a diminuir posteriormente (Figura 4.7). Esses resultados foram coniventes com aqueles encontrados por Almeida e Soares (2003), que afirmaram que o incremento do IAF tem um comportamento exponencial quando os plantios estão jovens, até atingir um ponto máximo em que se estabiliza com o aumento da idade. Em seus estudos, Almeida e Soares (2003) encontraram o valor máximo de $3,5 \text{ m}^2/\text{m}^2$ entre 36 e 48 meses em plantios de *E. grandis* no estado do Espírito Santo. Já Beadle e Turnbull (1992) concluíram que os plantios de eucalipto na Austrália estabilizam seus valores entre 48 e 72 meses, mostrando que em diferentes condições ambientais o ponto máximo de IAF pode variar. Neste estudo, no intervalo de idade avaliado na região Aracruz, o IAF e o IAV do *E. grandis* pareceram ainda incrementar com o aumento da idade, levando a crer que esses talhões possam não ter atingido seu ponto máximo. Já na região São Mateus, foi detectada certa estabilização nos valores desta variável biofísica, que parece parar de aumentar nas idades mais avançadas (Figura 4.8). Dovey e du Toit (2006) e Paiva (2009) em plantios semelhantes na África do Sul e em Minas Gerais, respectivamente, também detectaram maiores valores de IAF e IAV para os povoamentos mais novos.

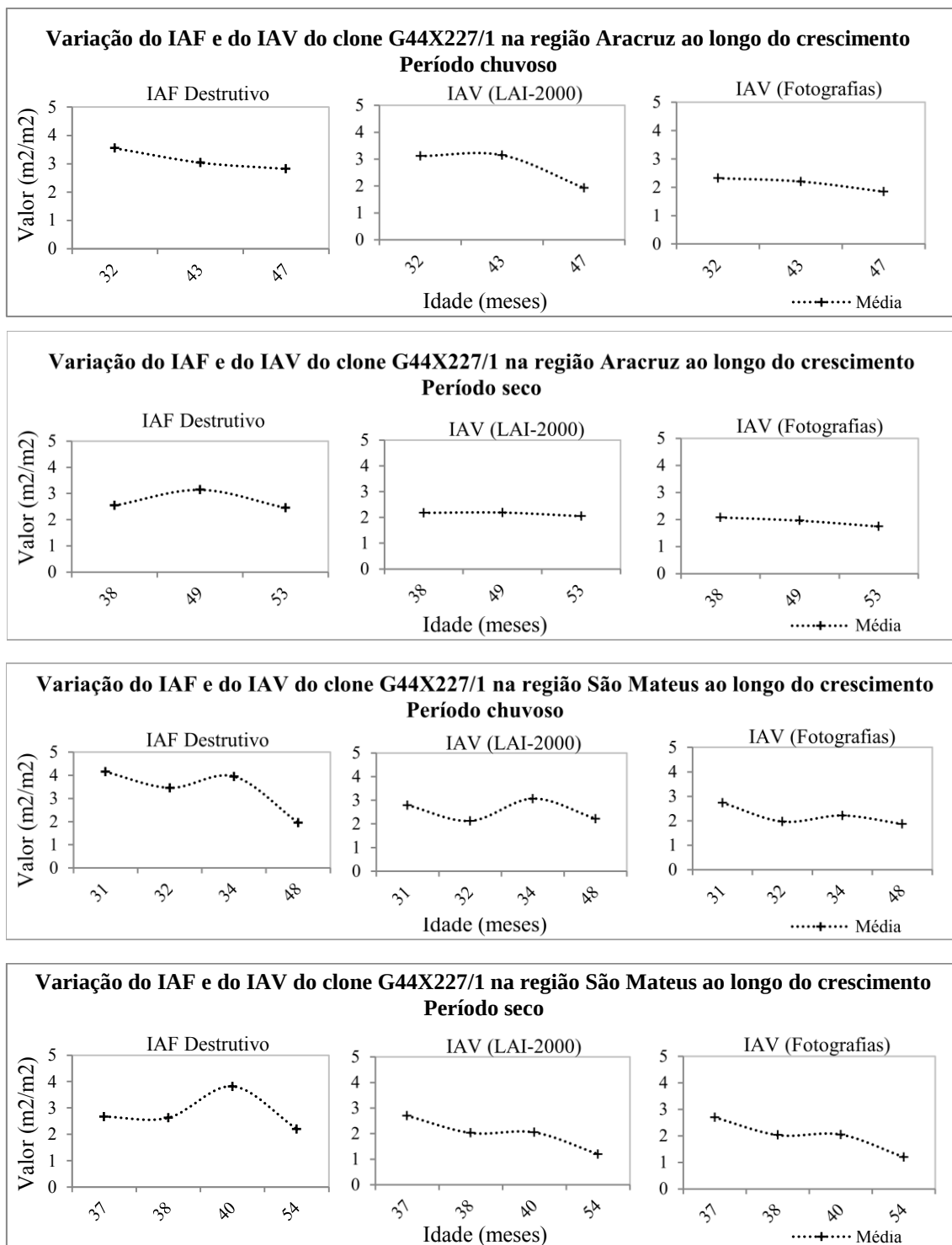


Figura 4.6. Comportamento do IAF e do IAV ao longo do ciclo produtivo dos plantios de clones de eucalipto G44X227/1 no período chuvoso e no período seco nas regiões Aracruz e São Mateus.

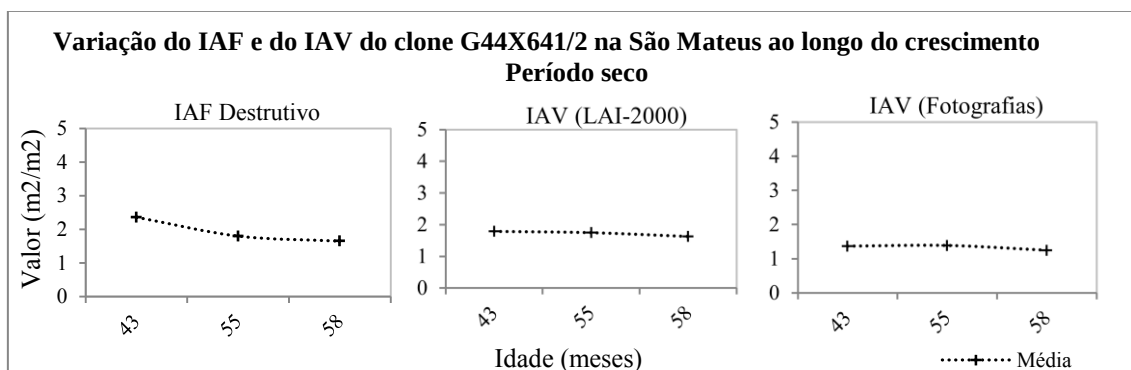
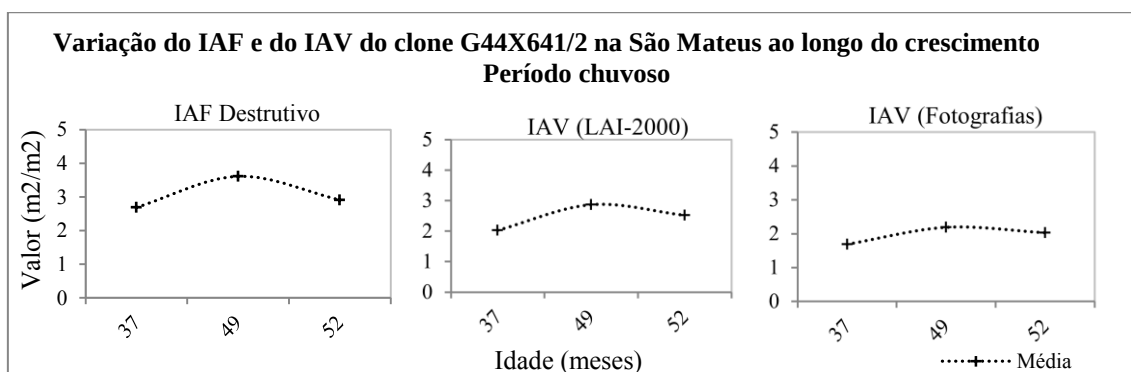
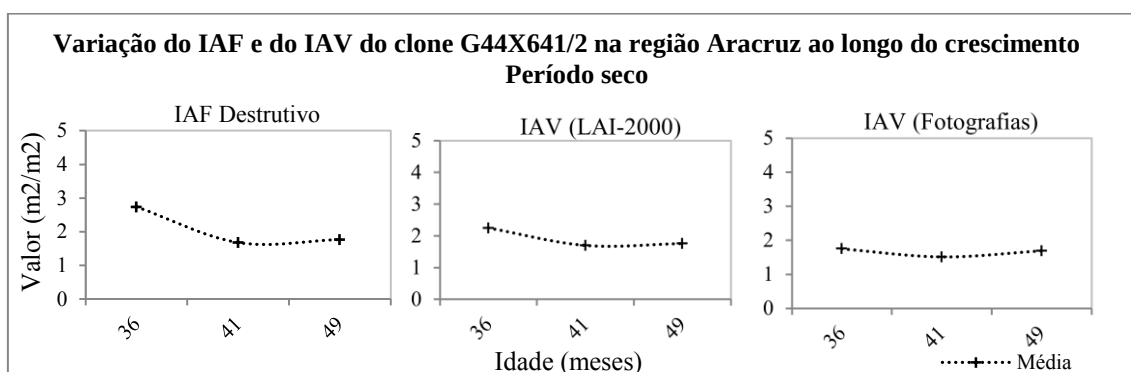
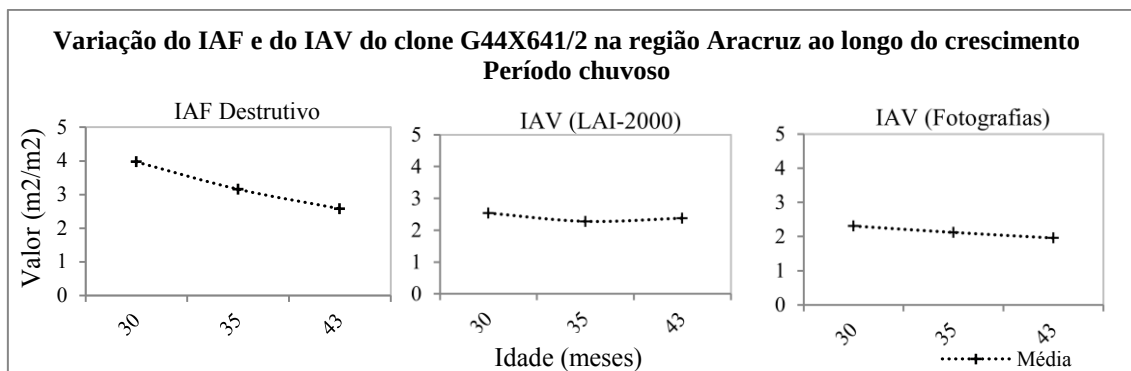


Figura 4.7. Comportamento do IAF e do IAV ao longo do ciclo produtivo dos plantios de clones de eucalipto G44X641/2 no período chuvoso e no período seco nas regiões Aracruz e São Mateus.

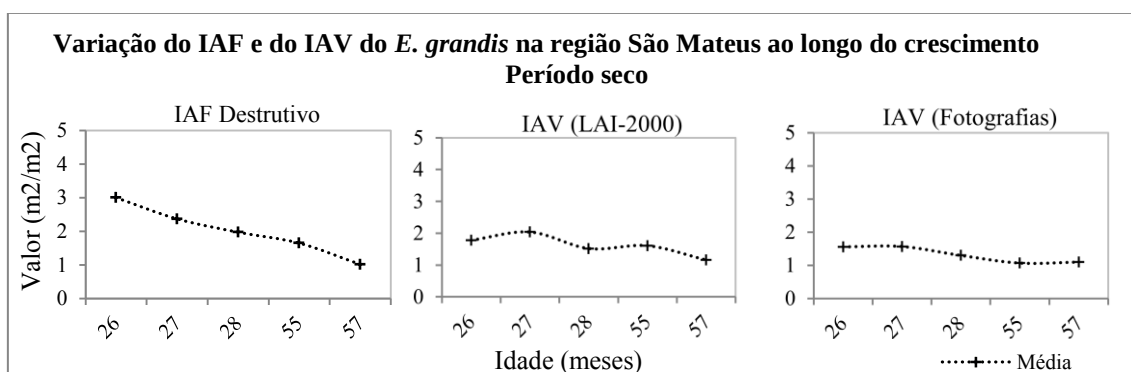
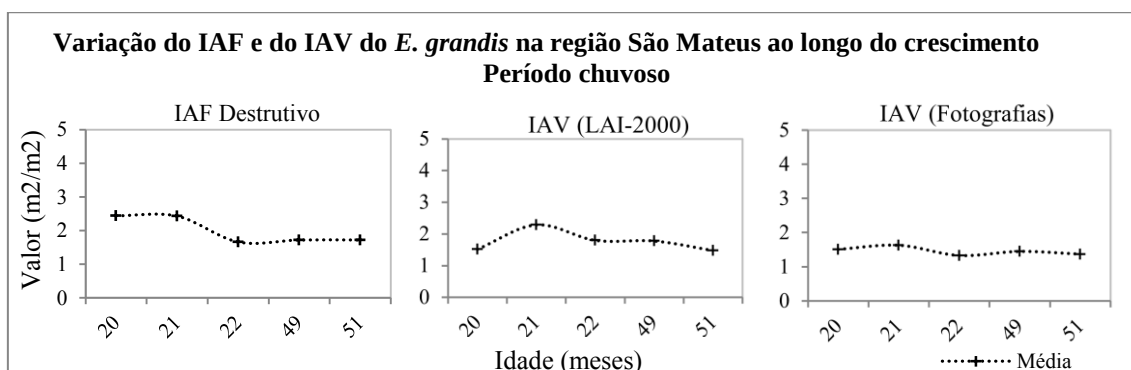
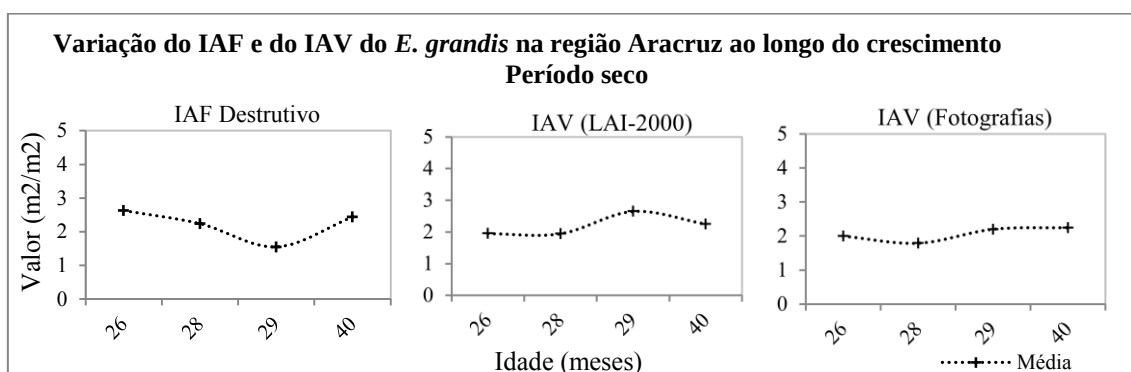
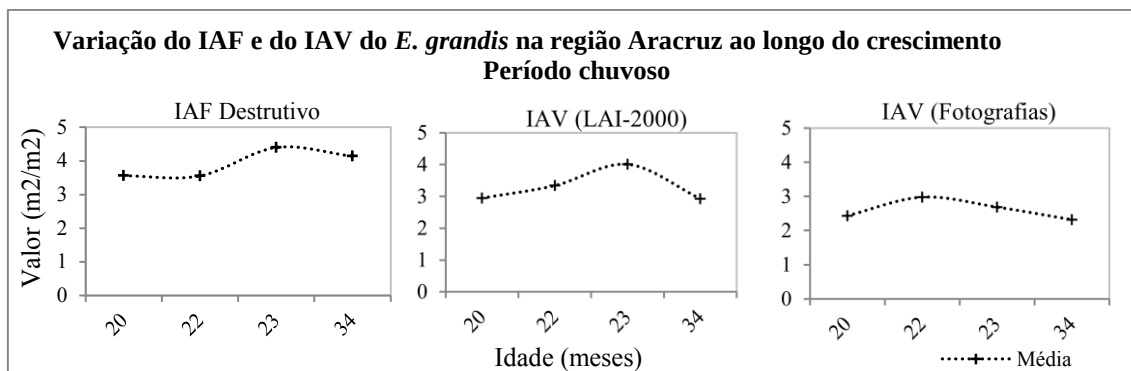


Figura 4.8. Comportamento do IAF e do IAV ao longo do ciclo produtivo dos plantios de clones de *E. grandis* no período chuvoso e no período seco nas regiões Aracruz e São Mateus.

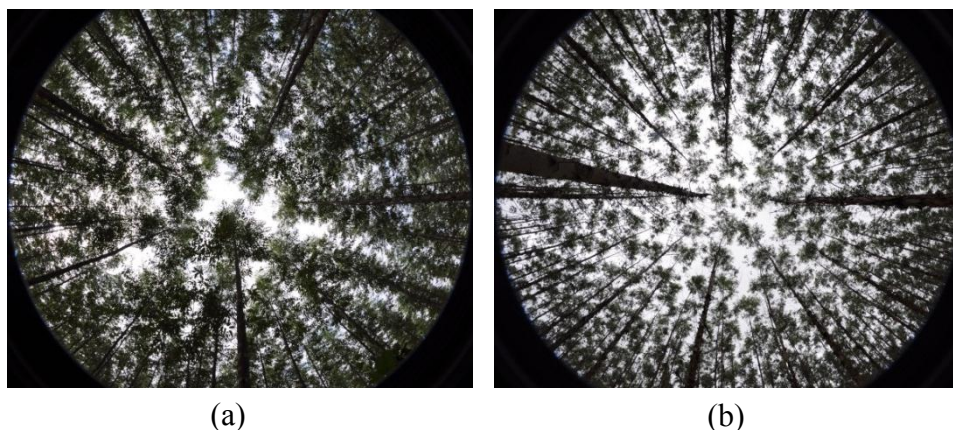


Figura 4.9. Fotografias hemisféricas de eucaliptais do clone G44X227/1 tomadas durante o período chuvoso aos 31 (a) e aos 48 meses (b).

As estimativas de IAV obtidas com o LAI-2000 e com as fotografias hemisféricas apresentaram valores até 40 e 47%, respectivamente, menores em relação ao IAF medido pelo método destrutivo para parcelas medidas durante o período chuvoso. Para a coleta de dados durante o período seco, essas diferenças ainda aumentaram, chegando a ser 55% inferiores quanto aos resultados do LAI-2000 e 51% quanto às fotografias hemisféricas. Macfarlane et al. (2007c) também constataram essa inferioridade das estimativas por estes instrumentos ópticos e se depararam com estimativas até 50% inferiores em plantios de *E. globulus* quando os resultados não eram corrigidos quanto à aglomeração dos elementos do dossel. Paiva (2009) encontrou subestimativas de até 49% nos talhões de eucaliptos avaliados em seu trabalho com ambas as técnicas indiretas e Dovey e du Toit (2006) também comprovaram essa diminuição dos valores do LAI-2000 com relação ao método destrutivo. De acordo com Bréda (2003), Jonckheere et al. (2004), Macfarlane et al. (2007) e Zheng e Moskal (2009), a razão desta subestimativa é atribuída à distribuição não aleatória dos elementos foliares do dossel florestal, a qual não é levada em consideração no modelo de Poisson utilizado por estas metodologias. Neste contexto, efeitos como a aglomeração e a sobreposição das folhas do dossel deveriam ser cuidadosamente considerados e incorporados nos cálculos para estimar o IAV. Esses fatores foram estudados em trabalhos como os de Chen e Black (1992) e Chen e Cihlar (1995) em teorias descritas como *gap size* (ZHENG; MOSKAL, 2009) e utilizam equipamentos como o TRAC para avaliar o efeito de aglomeração da vegetação. De fato, Ryu et al. (2010), Schleppi et al. (2007) e Thimonier et al. (2010) encontraram valores maiores do IAV obtidos por estas técnicas

indiretas ao corrigirem suas estimativas quanto à aglomeração das folhas e à declividade do terreno, os quais, por sua vez, se correlacionaram melhor aos valores obtidos pelo método destrutivo. Essa subestimativa dos métodos indiretos é ainda mais evidente em dosséis como os deste trabalho, já que as árvores são implantadas com certo espaçamento entre elas (neste caso, 3,0 x 3,0 m), aumentando a distância entre as copas e o efeito de aglomeração das folhas. Esse tipo de problema foi também abordado por Ryu et al. (2010) ao avaliar os dosséis esparsos de savanas norte-americanas. Segundo Neumann et al. (1989), dosséis com folhas aglomeradas pode ser mais bem descritos por modelos binomiais usando funções probabilísticas negativas. Já Nilson (1971) afirma que os modelos de Markov são apropriados.

Com relação à tomada das fotografias hemisféricas, o uso da exposição automática pode não ter sido adequada uma vez que Zhang et al. (2005) detectaram que esse procedimento pode diminuir a precisão do método. Além disso, um fator muito importante a ser colocado em pauta é a definição manual do limiar de classificação das fotografias hemisféricas (*threshold*) que, por ser feito de maneira subjetiva e arbitrária, insinua uma fonte de erro. Neste sentido, trabalhos como os de Nobis e Hunziker (2005) são importantes na tentativa de implementar uma forma de determinação automática do *threshold*.

As comparações das estimativas obtidas através das diferentes metodologias foram realizadas para cada estação climática separadamente, lembrando que os dados coletados para a parcela 1 no período chuvoso foram descartados por motivos já relatados anteriormente. O estabelecimento dessas regressões para cada época de coleta foi realizado no intuito de verificar se as técnicas indiretas para estimativa do IAV poderiam apresentar maior exatidão em uma das duas estações climáticas, ou seja, se a precisão das estimativas seria influenciada pelas condições do dossel em cada ocasião. Além disso, a abrangência de talhões representativos de diferentes materiais genéticos implantados nas duas regiões com diferentes idades foi interessante, de maneira a considerar dosséis com diferentes características representadas pela quantidade e tamanho das folhas, altura das árvores, volume das copas, entre outras.

Os testes estatísticos e o gráfico comparativo entre os valores de IAF obtido pelo método destrutivo e aqueles de IAV estimados pelo LAI-2000 no período chuvoso

mostraram que esses dados apresentaram aderência entre eles e a regressão foi significativa a 5% ($p1 < 0,05$) (Figuras 4.10). Segundo a teoria proposta por Neter e Wasserman (1974), foi possível estabelecer um intervalo de confiança entre os valores obtidos por essas duas metodologias, em que o intercepto passasse pela origem ($\beta_0=0$) e a inclinação da reta fosse de 45% ($\beta_1=1$). No entanto, vale salientar que neste caso estaríamos considerando a grande dispersão dos pontos em torno da reta de regressão, o que implica que esses resultados somente seriam possíveis dentro de uma série de eventos. De fato, não necessariamente porque não foi possível estabelecer um intervalo de confiança entre os dados de IAF (destrutivo) e os dados de IAV calculados através das fotografias hemisféricas durante o período chuvoso ($p4 < 0,05$) que essas técnicas sejam menos relacionadas, o que é refletido na menor dispersão dos dados e maior aderência entre os valores (Figura 4.11).

Os resultados dessas comparações apontaram que, no período chuvoso, estabelecendo o método destrutivo como referência, as técnicas indiretas foram modeláveis a ele, porém seus valores não foram iguais em termos absolutos.

Com relação aos dados coletados durante o período seco, verificou-se menor aderência entre os valores de IAF calculados pelo método destrutivo e as estimativas de IAV obtidas com o LAI-2000, sendo que a equação estabelecida não foi significativa ($p1 > 0,05$) (Figura 4.12). Os valores calculados a partir das fotografias hemisféricas, apesar de terem apresentado uma relação significativa a 5% com os valores de IAF, exibiram maior dispersão ao redor da linha da equação quando comparada ao período chuvoso, a qual é também refletida na análise dos resíduos padronizados e na possibilidade de determinação de um intervalo de confiança (Figura 4.13). Esses resultados mostraram que, durante a estação seca, quando as folhas da parte mais baixa das copas dos eucaliptais caíram, deixando-as mais compactas e distantes umas das outras, o potencial dos métodos indiretos diminuiu (BRÉDA, 2003; JONCKHEERE et al., 2004). Neste sentido, para este tipo de dossel, parece ser mais confiável utilizar as metodologias indiretas durante o período chuvoso, quando as copas se encontram mais avolumadas. Ainda assim, ressalta-se o quanto é fundamental considerar a aglomeração das folhas no dossel, como discutido anteriormente (RYU et al., 2010; ZHENG; MOSKAL, 2009).

Os resultados mostraram que ambas as técnicas foram sensíveis às variações do dossel de uma estação climática para outra. Contudo, entre os dois métodos indiretos utilizados, as fotografias hemisféricas apresentaram maior aderência aos dados obtidos pelo método destrutivo. Ambas as técnicas apresentam restrição de horário para a coleta dos dados, sendo que o uso das fotografias hemisféricas apresenta a vantagem de fornecer um registro permanente de importantes informações do dossel, como posição, tamanho, densidade e distribuição das aberturas em diferentes ângulos zenitais e azimutais (ZHANG et al., 2005).

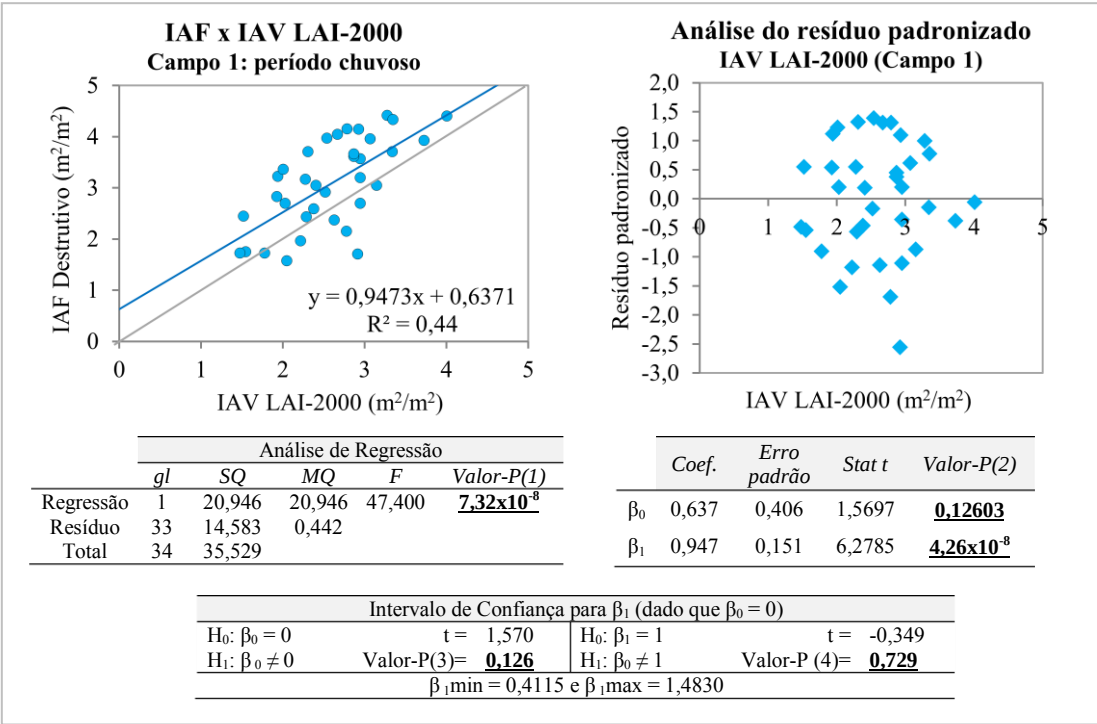


Figura 4.10. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e do LAI-2000 (IAV) no período chuvoso.

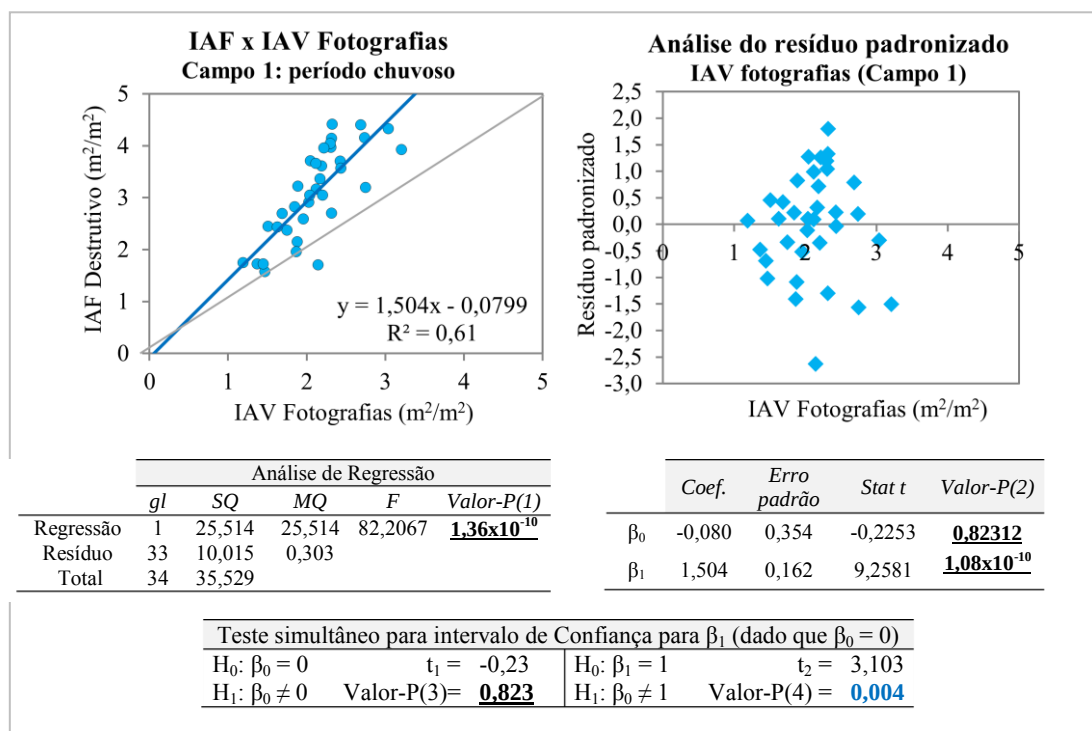


Figura 4.11. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e das fotografias hemisféricas (IAV) no período chuvoso.

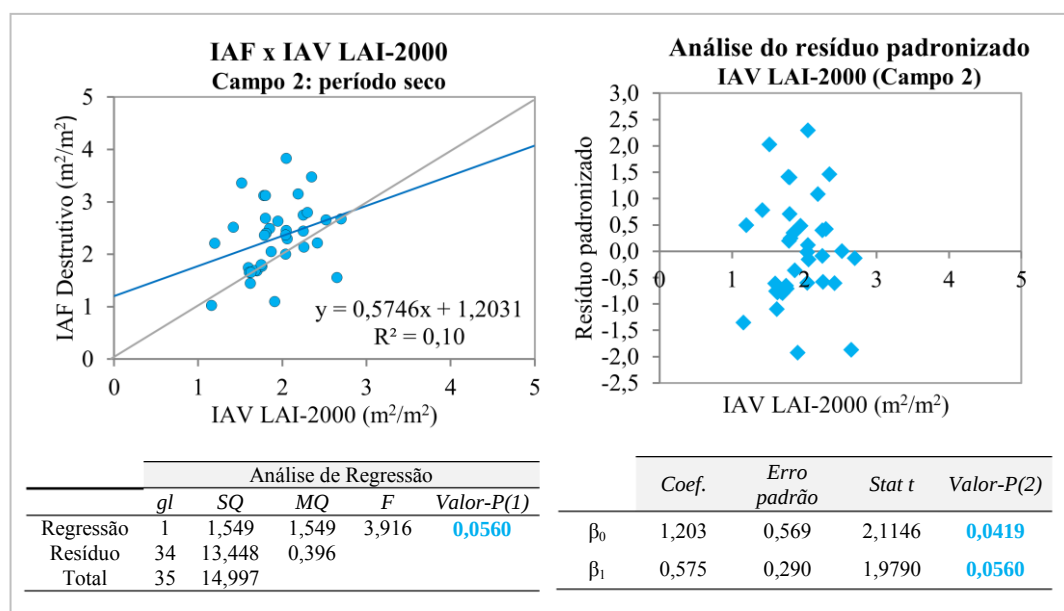


Figura 4.12. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e do LAI-2000 (IAV) no período seco.

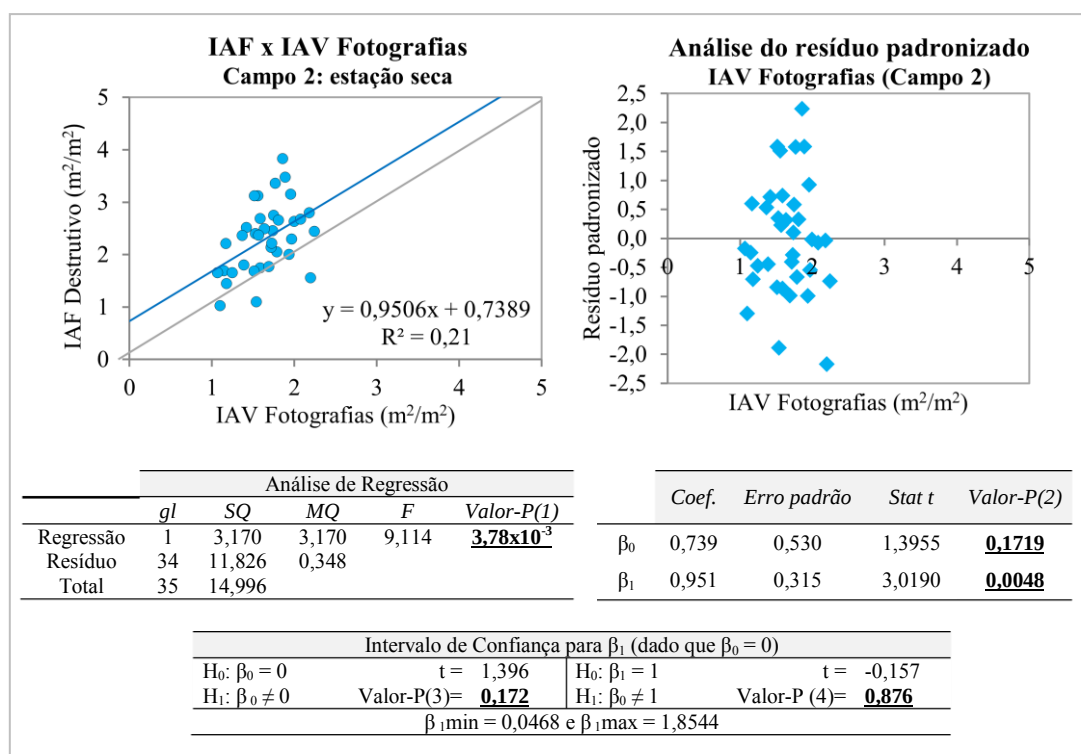


Figura 4.13. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir do método destrutivo (IAF) e das fotografias hemisféricas (IAV) no período seco.

Com o objetivo de avaliar a similaridade ou diferença das duas técnicas indiretas, optou-se por incluir comparações entre as estimativas obtidas pelas mesmas, já que se baseiam ambas na teoria do *gap fraction*. Essa relação, se comparada às avaliações anteriores, apresentou maior aderência entre os valores, o que inclusive impossibilitou o estabelecimento de um intervalo de confiança para β_1 a 5% de significância, já que houve menor dispersão dos dados ao redor da linha de equação. Desta forma, apesar das estimativas obtidas pelas diferentes técnicas serem fortemente relacionadas nas duas estações, não haveria uma relação direta entre os valores calculados pelas duas metodologias (Figuras 4.14 e 4.15).

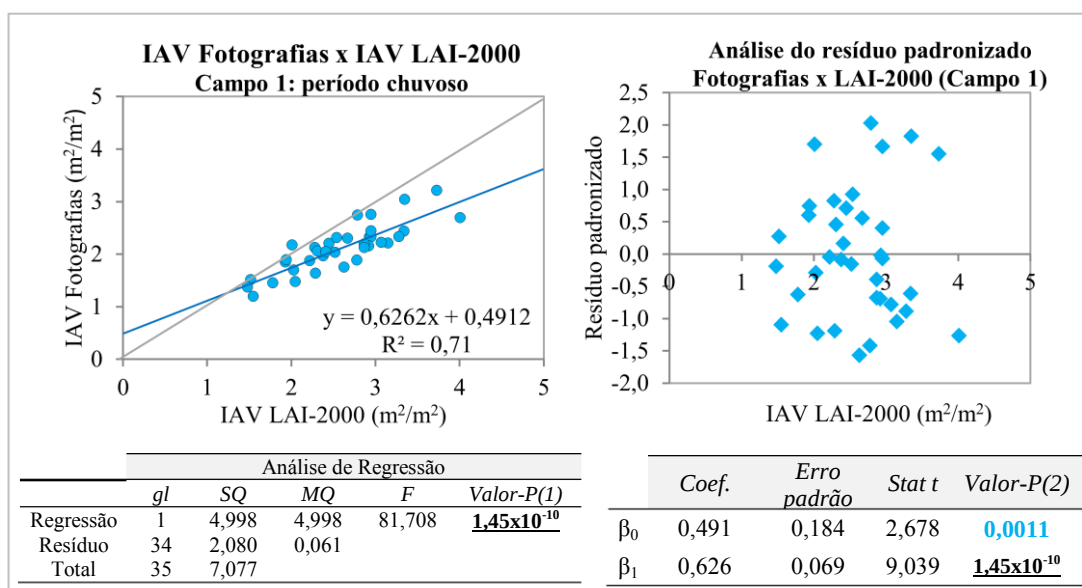


Figura 4.14. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores de IAV obtidos a partir das fotografias hemisféricas e do LAI-2000 no período chuvoso.

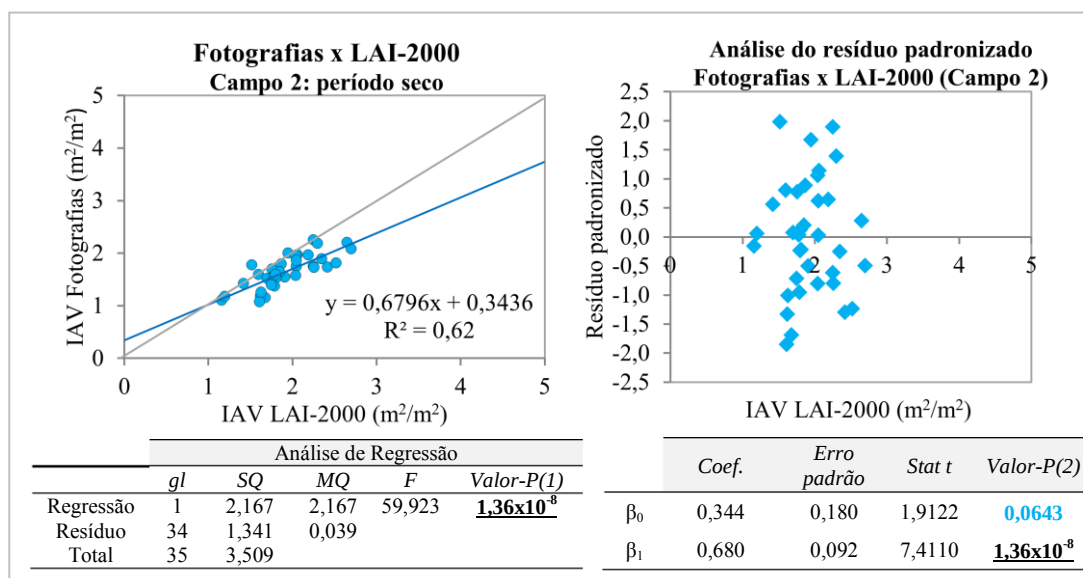


Figura 4.15. Resultado dos testes estatísticos para a comparação entre os valores obtidos a partir das fotografias hemisféricas e do LAI-2000 no período seco.

4.3. Avaliação dos resultados de cobertura florestal (C) e densidade do dossel (D)

Neste ponto, mais do que examinar o comportamento de C e D ao longo do desenvolvimento dos talhões das distintas espécies, buscou-se verificar se esses parâmetros, estimados a partir das metodologias aqui utilizadas, também seriam sensíveis à variação do dossel de uma estação climática para outra. Além disso, suas estimativas foram comparadas com os valores de IAF e IAV obtidos para os talhões avaliados neste trabalho.

Verificou-se que o valor médio da densidade do dossel obtida a partir do processamento das fotografias hemisféricas e da cobertura florestal constatada com o auxílio do densitômetro vertical diminuiu entre uma estação climática e outra nas duas regiões de estudo (Figura 4.16). Essa variação nos resultados manifesta que esses parâmetros também diminuíram entre o período úmido e o período seco, mostrando que as metodologias utilizadas foram capazes de detectar essas alterações quanto à fração de céu efetivamente vista decorrentes da variação sazonal e/ou aumento da idade dos povoamentos. Chaves et al. (2007), ao verificarem o comportamento de dosséis de *E. grandis* submetidos à desrama artificial e desbaste, relataram que o uso das fotografias hemisféricas para determinação da densidade do dossel foi pouco sensível às mudanças do desenvolvimento da copa. Já neste estudo, o D calculado a partir das fotografias hemisféricas mostrou ser mais sensível do que o C determinado com o auxílio do densitômetro vertical.

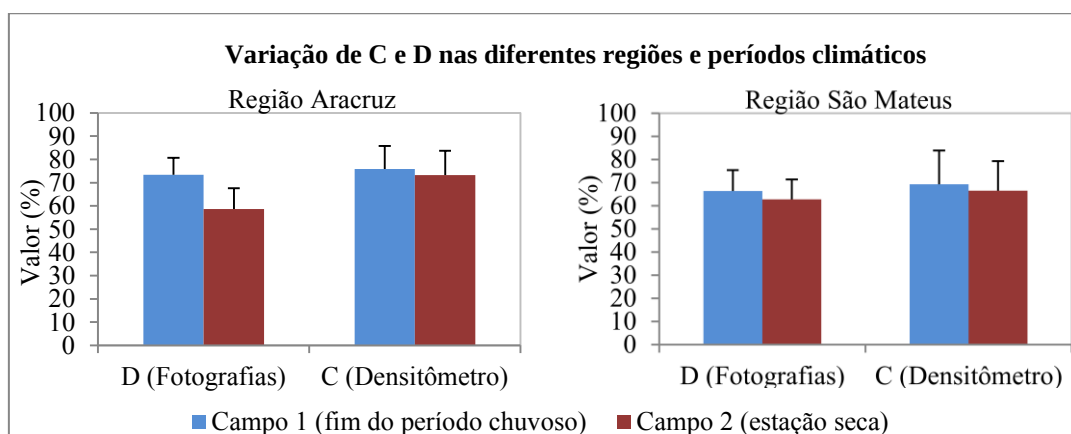


Figura 4.16. Valores médios de D e C das parcelas localizadas nas regiões Aracruz e São Mateus nos dois períodos climáticos.

Ao verificar a relação entre os valores de densidade do dossel (D) e cobertura florestal (C) para ambas as épocas climáticas, estas foram significativas, porém com valores bastante dispersos ao redor da linha da equação (Tabelas 4.3 e 4.4), o que leva a confirmar que essas variáveis devem ser tratadas de forma diferenciada, conforme constatado por Jennings (1999). Os valores de D e C calculados para cada parcela são apresentados no apêndice D deste documento.

Os resultados dos testes estatísticos aplicados para a comparação dessas duas variáveis (D e C) nos dois períodos climáticos são apresentados nas Tabelas 4.3 e 4.4. Averiguando as relações dos valores de IAF obtidos a partir do método destrutivo com esses parâmetros, um resultado relativamente melhor foi obtido com os valores de D calculados a partir das fotografias no período chuvoso. Ainda, ao confrontar os valores de D com as estimativas de IAV obtidas a partir dos métodos indiretos, as relações foram significativas somente no período chuvoso, indicando que não necessariamente por terem sido estimados pela mesma técnica, os parâmetros D e IAV obtido pelas fotografias hemisféricas apresentam forte aderência entre si. Esses resultados ainda mostraram que as relações também diminuíram durante o período seco, chegando até mesmo a não serem significativas ao nível de 5% de significância. As comparações dos valores de IAV calculados pelo LAI-2000 e pelas fotografias hemisféricas com as estimativas de C geraram relações significativas nos dois períodos climáticos, resultado interessante visto que a metodologia de estimativa de C com o auxílio do densitômetro representa uma alternativa de baixo custo e independe das condições de luminosidade e atmosféricas.

Tabela 4.3. Testes estatísticos comparativos entre os valores de C e D e IAF e IAV calculados com base nos dados coletados no período chuvoso.

	Período chuvoso		
	R ²	Equação	Intervalo de Confiança para β_1
D _{Fotografias} x C _{Densitômetro}	0,22	y = 0,677x + 25,29	0,05 < β_1 < 1,30
C _{Densitômetro} x IAF _{Destrutivo}	0,15	y = 0,027x + 1,154	$\beta_1 \neq 1$ (p<0,05)
C _{Densitômetro} x IAV _{LAI-2000}	0,42	y = 0,031x + 0,346	$\beta_1 \neq 1$ (p<0,05)
C _{Densitômetro} x IAV _{Fotografias}	0,33	y = 0,020x + 0,628	$\beta_1 \neq 1$ (p<0,05)
D _{Fotografias} x IAF _{Destrutivo}	0,35	y = 0,057x - 0,924	$\beta_1 \neq 1$ (p<0,05)
D _{Fotografias} x IAV _{LAI-2000}	0,47	y = 0,047x - 0,672	$\beta_1 \neq 1$ (p<0,05)
D _{Fotografias} x IAV _{Fotografias}	0,47	y = 0,035x - 0,333	$\beta_1 \neq 1$ (p<0,05)

Tabela 4.4. Testes estatísticos comparativos entre os valores de C e D e IAF e IAV calculados com base nos dados coletados durante o período seco.

	Período seco		
	R ²	Equação	Intervalo de Confiança para β_1
D _{Fotografias} x C _{Densitômetro}	0,17	y = 0,552x + 36,38	$\beta_0 \neq 0$ (p<0,05)
C _{Densitômetro} x IAF _{Destrutivo}	0,17		Não significativa a 5%
C _{Densitômetro} x IAV _{LAI-2000}	0,34	y = 0,018x + 0,692	$\beta_0 \neq 0$ (p<0,05)
C _{Densitômetro} x IAV _{Fotografias}	0,32	y = 0,015x + 0,603	$\beta_0 \neq 0$ (p<0,05)
D _{Fotografias} x IAF _{Destrutivo}	0,09		Não significativa a 5%
D _{Fotografias} x IAV _{LAI-2000}	0,10		Não significativa a 5%
D _{Fotografias} x IAV _{Fotografias}	0,04		Não significativa a 5%

4.4. Caracterização dos eucaliptais a partir dos valores extraídos dos produtos orbitais MODIS/Terra e VGT/SPOT

Inicialmente, foi feita uma caracterização do comportamento espectral médio incluindo todas as parcelas nos dois períodos climáticos para verificar se os dados MODIS e VGT seriam sensíveis às variações ocorridas nos dosséis dos talhões. Também uma análise dos IV gerados foi feita neste sentido. A posteriori, foi realizada a comparação dos valores obtidos em nível orbital com os valores de IAF, IAV, C e D estimados para os talhões.

Os valores digitais das bandas 1, 2, 3 e 7 do sensor MODIS com resolução espacial de 250 m (Tabela 2.1) extraídos dos produtos MOD13Q1 para cada parcela, após terem sido transformados em valores físicos (fator de reflectância bidirecional, FRB), possibilitaram verificar o comportamento médio dos plantios nos diferentes períodos

climáticos (Figura 4.17). Destaca-se que esses produtos fornecem os valores para as bandas 3 e 7 a uma resolução degradada de 250 m. Ainda assim, a diferença entre os produtos MOD13 e MOD09 para estas bandas é a quantidade de dias consideradas na composição dos mosaicos (16 e 8 dias, respectivamente), por isso optou-se por considerar ambos nas avaliações. A mesma caracterização dos dosséis foi realizada com os valores médios extraídos e transformados para as 7 bandas dos produtos MOD09A1, com 500 m de resolução espacial (Figura 4.18) e com os valores de FRB das quatro bandas do sensor VGT/SPOT (Tabela 2.2) extraídos dos produtos S10 com uma resolução espacial de 1 km (Figura 4.19).

A forma das curvas dos gráficos gerados foi típica daquela esperada para cobertura vegetal de grande porte, evidenciando baixa reflectância nas regiões do visível e do IVM e aumento da reflectância na região do IVP (KOBAYASHI et al., 2007). De uma estação climática para outra, foi possível verificar aumento no FRB nas bandas do azul e do vermelho, o qual deve estar associado à redução da absorção da radiação por parte dos pigmentos fotossintetizantes como a clorofila, consequente da diminuição na quantidade de folhas do dossel, e maior influência da serrapilheira e/ou sub-bosque, compostos nesse tipo de formação florestal tipicamente por folhas secas (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007). Essa variação nos dosséis também implicou na diminuição do FRB na região do IVP, ocasionada por um menor espalhamento da radiação dentro da estrutura foliar. Simultaneamente, houve aumento do FRB no IVM que, por se tratar de uma faixa espectral influenciada pelas bandas de absorção da água, pode estar vinculado à menor quantidade de água das copas dos eucaliptais durante a época seca (JENSEN, 2009). Nos gráficos dos produtos MOD09A1 e VGT/SPOT foi constatado um maior desvio das médias durante a estação seca, principalmente na região do visível, o qual pode estar atrelado a uma maior distinção dos elementos durante o período seco (PONZONI; SHIMABUKURO, 2007).

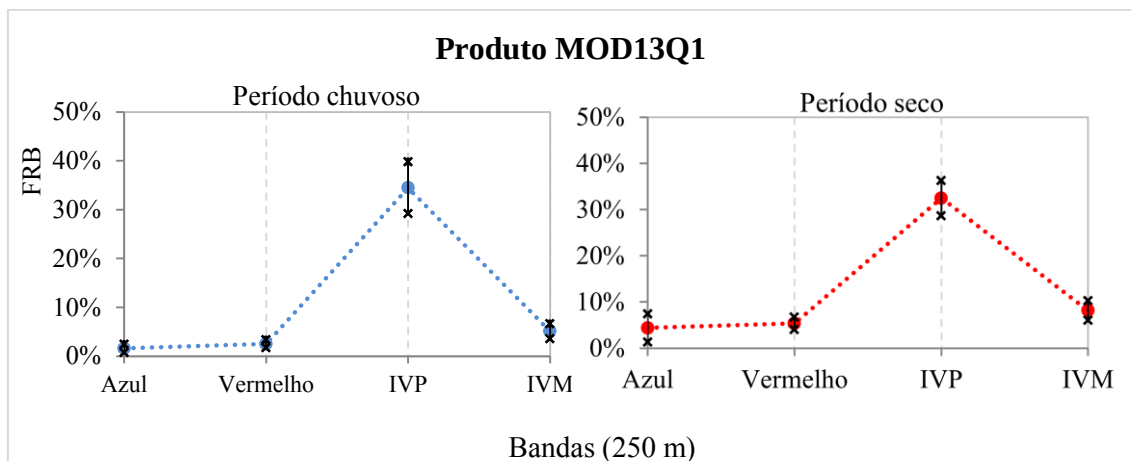


Figura 4.17. Comportamento espectral dos talhões com base nos FRB extraídos dos produtos MOD13Q1 de 22 de março de 2011 e 14 de setembro de 2011.

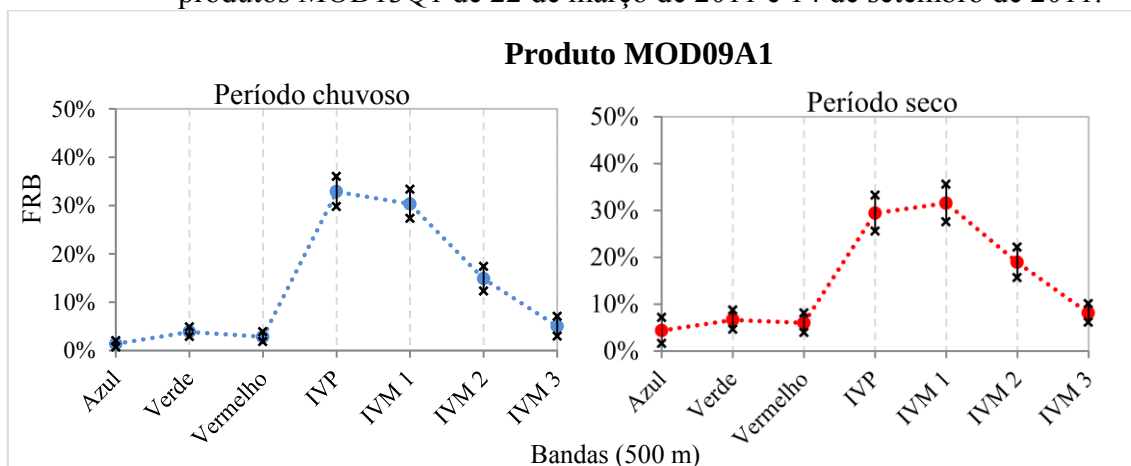


Figura 4.18. Comportamento espectral dos talhões com base nos FRB extraídos dos produtos MOD09A1 de 30 de março de 2011 e 22 de setembro de 2011.

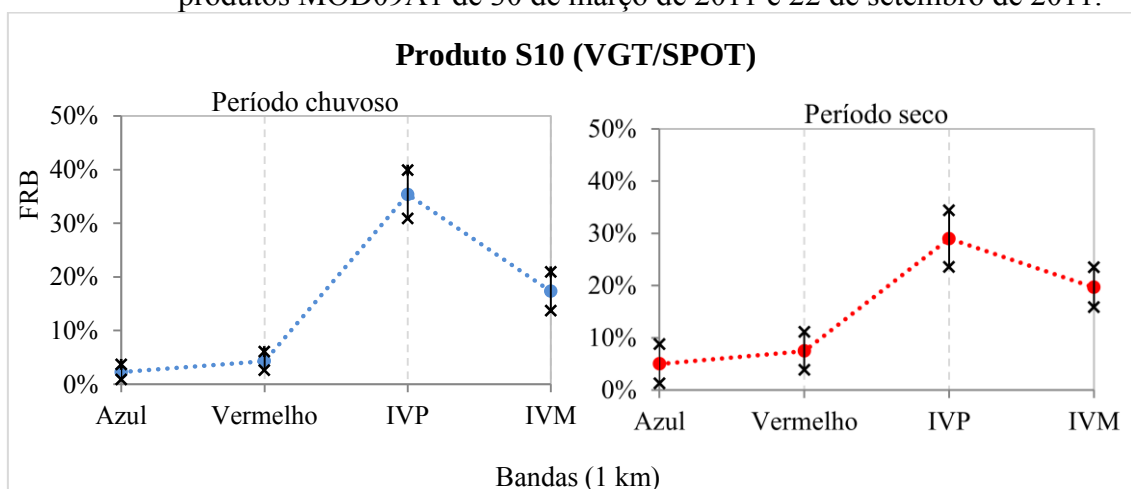


Figura 4.19. Comportamento espectral de todos os talhões com base nos fatores de reflectância extraídos dos produtos S10 nas duas estações climáticas.

A mesma comparação feita com as estimativas de IAF e IAV entre plantios do mesmo clone (G44X641/2) instalados na região Aracruz sobre o mesmo tipo de solo (PA1) com 35 meses durante a estação chuvosa (parcela 7) e com 36 meses no período seco (parcela 2), foi realizada nesta fase a fim de verificar se as imagens e produtos MODIS e VGT seriam sensíveis às mudanças sazonais refletidas no dossel (Figuras 4.20 e 4.21). No entanto, para estes talhões em específico, os produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT não detectaram o aumento esperado na região do IVM, porém foram sensíveis nas regiões do visível e do IVP. Novamente ressalta-se que essa análise foi realizada somente com esse clone e idade por ser o único a permitir fazer esse tipo de análise em idades aproximadas nas duas estações climáticas.

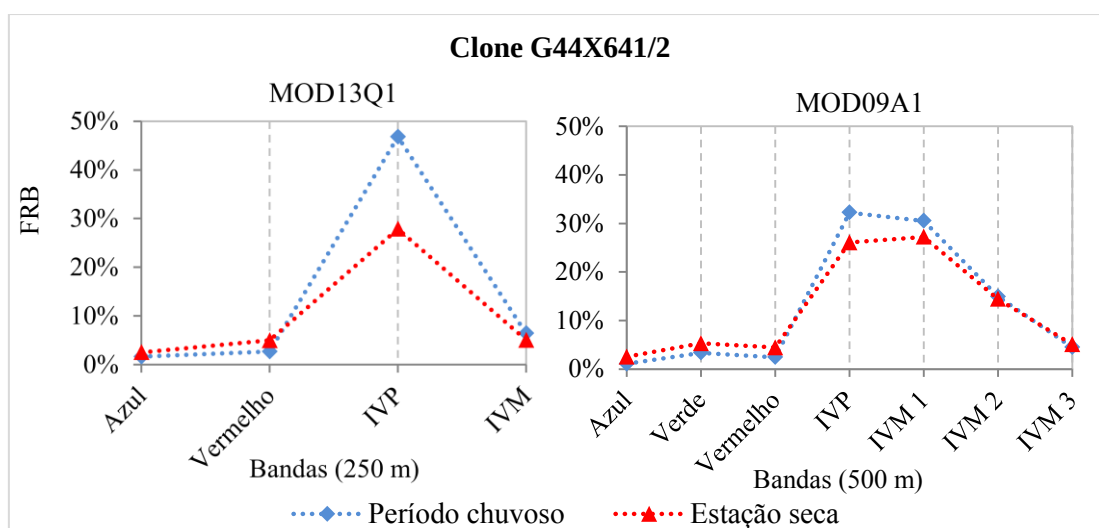


Figura 4.20. Comportamento espectral do mesmo clone instalado na região Aracruz no período chuvoso e no período seco com base nos valores MOD13Q1 e MOD09A1.

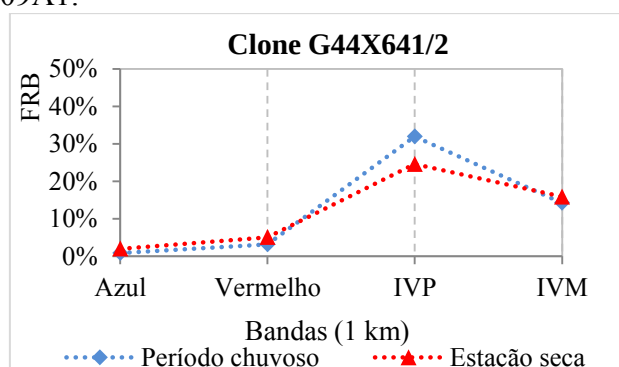


Figura 4.21. Comportamento espectral do mesmo clone instalado na região Aracruz durante o período chuvoso e o período seco com base nos valores S10 do VGT/SPOT.

As médias dos índices de vegetação (IV) de todas as parcelas extraídas do produto MOD13Q1 (NDVI₂₅₀ e EVI₂₅₀) e aqueles gerados a partir dos valores de FRB disponibilizados por este produto com 250 m de resolução espacial (SAVI₂₅₀ e NDWI₂₅₀) são apresentadas na Tabela 4.5. Já as médias dos IV com 500 m de resolução espacial calculados a partir dos produtos MOD09A1 são apresentadas na Tabela 4.6, à qual foram também incorporados os valores extraídos dos produtos MOD15A2 e MOD17A2, relacionados ao IAF, fAPAR e GPP, com resolução espacial de 1 km. Já as médias dos IV gerados a partir dos produtos VGT/SPOT com 1 km de resolução espacial (NDVI₁₀₀₀, SAVI₁₀₀₀, EVI₁₀₀₀, NDWI₁₀₀₀) são apresentadas na Tabela 4.7.

De maneira geral, todos os IV foram sensíveis às variações do dossel dos eucaliptais entre as duas estações climáticas, sendo que aquele que apresentou maior diminuição em seus valores entre o período seco e o período chuvoso foi o NDVI. Essa grande redução em seu valor pode estar relacionada à sua grande sensibilidade a variações do substrato sob o dossel (JENSEN, 2009) que, em plantios desse gênero, fica mais exposto e com maior quantidade de folhas secas. Em seguida ao NDVI, o NDWI apresentou a maior variação entre os dois períodos climáticos, mostrando que o conteúdo de umidade interno à vegetação realmente diminuiu durante a estação seca e foi detectado por este IV (JENSEN, 2009). O IV que apresentou menor variação entre as estações climáticas foi o EVI que, segundo Huete et al. (2002), é mais influenciado pela variação na estrutura do dossel, compreendendo o IAF, a fisionomia da planta e a arquitetura do dossel. Em todo caso, deve-se levar em consideração que o EVI reduz as influências atmosféricas (HUETE et al., 2002), as quais requerem atenção especial na análise dos produtos MODIS, já que, segundo Vermote e Vermeulen (1999), os modelos de correção atmosférica aplicados nesses produtos consideram a superfície como Lambertiana (isotrópica), sendo que a vegetação possui características anisotrópicas, podendo ocasionar erros que variam de 0,02 a 0,11 no valor do FRB, dependendo da atmosfera e do comprimento de onda. O SAVI também é interessante neste tipo de análise por amenizar o efeito da resposta do solo (SOUSA, PONZONI, 1998), que pode ser até dominante sobre a resposta da vegetação em dosséis como este em que a porcentagem de cobertura é relativamente baixa devido à distância das copas. Os valores de IAF_{MOD} e fAPAR obtidos a partir do produto MOD15A2 também diminuíram entre as estações, redução esta que não foi verificada no GPP do produto

MOD17A2, que se manteve constante. Se comparadas aos valores de IAF obtidos pelo método destrutivo e pelos métodos indiretos terrestres (LAI-2000 e fotografias hemisféricas), as estimativas de IAF fornecidas pelo produto MOD15A2 foram relativamente maiores, como também constatado por Sea et al. (2011) e Fang et al. (2012).

Tabela 4.5. Valores médios dos IV calculados a partir dos produtos MOD13Q1 para os dois períodos climáticos.

		Índices MOD13Q1			
		NDVI ₂₅₀	SAVI ₂₅₀	EVI ₂₅₀	NDWI ₂₅₀
Valor médio	Período chuvoso	0,863	0,548	0,577	0,742
	Período seco	0,717	0,461	0,514	0,600

Tabela 4.6. Valores médios dos IV extraídos e calculados a partir dos produtos MOD13Q1 (NDVI₅₀₀, SAVI₅₀₀, EVI₅₀₀ e NDWI₅₀₀), MOD15A2 (IAF_{MOD} e fAPAR) e MOD17A2 (GPP) para os dois períodos climáticos.

		Índices MOD09A1				MOD15A2 e 17A2		
		NDVI ₅₀₀	SAVI ₅₀₀	EVI ₅₀₀	NDWI ₅₀₀	IAF (m ² /m ²)	fAPAR (%)	GPP (Kg C/m2)
Valor médio	Período chuvoso	0,842	0,525	0,537	0,740	5,32	0,85	0,06
	Período seco	0,661	0,410	0,440	0,569	3,65	0,67	0,06

Tabela 4.7. Valores médios dos índices de vegetação calculados para os dois períodos climáticos a partir dos produtos S10.

		Índices			
		NDVI ₁₀₀₀	SAVI ₁₀₀₀	EVI ₁₀₀₀	NDWI ₁₀₀₀
Valor médio	Período chuvoso	0,780	0,518	0,537	0,346
	Período seco	0,614	0,376	0,396	0,191

Os valores de FRB e dos IV extraídos e calculados a partir dos produtos MODIS para cada parcela nas duas estações climáticas em suas respectivas resoluções espaciais (250 m, 500 m e 1 km) são apresentados no Apêndice E deste documento. Já os valores de FRB e IV calculados para cada parcela a partir dos produtos VGT/SPOT se encontram no Apêndice F deste trabalho.

Ao comparar os valores obtidos para os parâmetros biofísicos em nível terrestre com os dados orbitais mediante o estabelecimento de equações de regressão, as relações entre

os valores se mostraram dispersas ao redor da linha de equação. Os resultados são apresentados resumidamente nas Tabelas 4.8 a 4.12. As melhores relações foram encontradas para as comparações entre os dados orbitais e os valores de IAF obtidos pelo método destrutivo. Kawe et al. (2011) se depararam com resultados semelhantes em suas comparações entre o NDVI do MODIS e o IAV obtidos por fotografias hemisféricas em florestas de Pinus dos Estados Unidos. É importante enfatizar que o intervalo de variação dos dados orbitais é relativamente pequeno com relação àquele dos dados terrestres de IAF e IAV, diminuindo a área para o estabelecimento de uma relação linear entre as variáveis. Esse resultado ainda pode estar relacionado ao fato de se tratar de talhões de vegetação arbórea com características estruturais muito próximas, de modo que os dados orbitais detectaram pouca variação entre os talhões, o que seria diferente, por exemplo, se fossem analisados diversos tipos de vegetação ou fisionomias.

Além disso, a maioria dos talhões avaliados neste trabalho tinha uma área relativamente pequena com relação às imagens utilizadas, logo, dentro dos pixels selecionados como representativos de cada plantio existia grande influência de elementos próximos aos alvos de interesse, como estradas, outras tipologias de vegetação ou até mesmo outros plantios florestais com características estruturais distintas. Melhores resultados foram encontrados por Le Maire et al. (2011b), ao correlacionarem o IAF de talhões de eucaliptos maiores que 30 ha com IV calculados a partir dos dados MODIS e inversão de modelos de transferência radiativa. Sprintsin et al. (2007) em seus estudos confirmaram que a estimativa do IAF a partir de imagens IKONOS, com 4 m de resolução espacial, foram mais precisas do que aquelas obtidas a partir de imagens MODIS, com resolução espacial de 250 m. Ainda, trabalhos como os de Canavesi e Ponzoni (2007) e Pacheco (2010), ao avaliarem a correlação entre parâmetros estruturais e de produtividade de eucaliptais com dados com maior resolução espacial (30 m) do sensor TM do satélite Landat-5, obtiveram melhores resultados do que os aferidos neste estudo, ressaltando que esses autores levaram em consideração o efeito da topografia sobre os valores de FRB extraídos.

Neste sentido, ressalta-se o fato de que os produtos mosaicados são resultado da aplicação de algoritmos que selecionam os pixels com visadas próximas ao nadir, sem a

ocorrência de nuvens e interferência de sombras (HUETE et al., 2002), portanto, as imagens resultantes contêm pixels vizinhos que não foram obtidos na mesma data e em diferentes ângulos, que deveriam ser levados em consideração devido ao comportamento anisotrópico da vegetação. O estabelecimento de uma relação empírica entre dados orbitais e dados biofísicos, ainda que seja um método computacionalmente eficiente (DARVISHZADEH et al., 2008), não considera todas as variáveis que influenciam o processo de interação da radiação eletromagnética com o dossel (LIANG, 2004). Desta forma, a não compreensão de variáveis como o caráter anisotrópico dos dosséis e o controle sobre outras propriedades que condicionam a resposta da vegetação (como a densidade da folhagem, as propriedades ópticas das folhas, entres outros) dificultaram o estabelecimento de uma relação significativa entre os valores de FRB e os dados coletados em campo.

Com base nisto, destaca-se a inversão de modelos de transferência radiativa, pois permite analisar a interação da radiação incidente no dossel com os elementos intrínsecos e extrínsecos à vegetação, como folhas, troncos, flores, frutos e, inclusive, o solo. Além disso, levam em consideração importantes aspectos geométricos tanto da incidência da radiação, quanto da coleta dos dados (CAMPOS, 2008; GOEL, 1988).

Tabela 4.8. Comparações dos valores de NDVI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.

	Período chuvoso			Período seco		
	R ²	Equação	Intervalo de Confiança	R ²	Equação	Intervalo de Confiança
NDVI ₂₅₀ x IAF	0,20	y=9,1x-4,8	$\beta_0 \neq 0$	0,15	y=-4,8x+5,8	$\beta_0 \neq 0$
NDVI ₅₀₀ x IAF	0,02	y=2,5x+1,0	-5,8< β_1 <10,8	0,01	Não significativa a 5%	
NDVI ₁₀₀₀ x IAF	0,001	Y=0,3X+2,9	$\beta_0 \neq 0; \beta_1 \neq 1$	2x10 ⁻⁴	Não significativa a 5%	
NDVI ₂₅₀ x IAV _{LAI-2000}	0,08	y=4,1x-1,0	$\beta_1 \neq 1$	0,02	Não significativa a 5%	
NDVI ₅₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,16	y=4,7x-1,4	$\beta_1 \neq 1$	0,01	Não significativa a 5%	
NDVI ₁₀₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,001	Não significativa a 5%		0,03	Não significativa a 5%	
NDVI ₂₅₀ x IAV _{Fotografias}	0,11	y=3,6x-1,0	-1,4< β_1 <8,5	0,01	Não significativa a 5%	
NDVI ₅₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,05	Não significativa a 5%		0,14	y=1,03X+1,0	$\beta_0 \neq 0$
NDVI ₁₀₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,01	Não significativa a 5%		0,19	y=1,2x+0,9	$\beta_0 \neq 0$
NDVI ₂₅₀ x C _{Densitômetro}	0,13	y=111,5x-23,6	$\beta_1 \neq 1$	0,03	Não significativa a 5%	
NDVI ₅₀₀ x C _{Densitômetro}	0,19	y=107,9x-18,3	$\beta_1 \neq 1$	0,01	Não significativa a 5%	
NDVI ₁₀₀₀ x C _{Densitômetro}	0,01	Não significativa a 5%		0,04	Não significativa a 5%	

Tabela 4.9. Comparações dos valores de SAVI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.

	Período chuvoso			Período seco		
	R ²	Equação	Intervalo de Confiança	R ²	Equação	Intervalo de Confiança
SAVI ₂₅₀ x IAF	0,20	y=6,9x-0,7	$\beta 1 \neq 1$	0,05	y=-3,5x+3,9	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$
SAVI ₅₀₀ x IAF	0,04	y=4,5x+0,7	$\beta 1 \neq 1$	0,01	Não significativa a 5%	
SAVI ₁₀₀₀ x IAF	0,03	Y=-2,7x+4,5	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$	0,09	y=4,2x+0,7	$\beta 1 \neq 1$
SAVI ₂₅₀ x IAV _{LAI-2000}	0,04	Não significativa a 5%		0,01	Não significativa a 5%	
SAVI ₅₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,05	Não significativa a 5%		0,001	Não significativa a 5%	
SAVI ₁₀₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,05	Não significativa a 5%		0,03	Não significativa a 5%	
SAVI ₂₅₀ x IAV _{Fotografias}	0,06	Não significativa a 5%		0,04	Não significativa a 5%	
SAVI ₅₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,03	Não significativa a 5%		0,08	Não significativa a 5%	
SAVI ₁₀₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,10	Não significativa a 5%		0,10	Não significativa a 5%	
SAVI ₅₀ x C _{Densitômetro}	0,02	Não significativa a 5%		0,09	Não significativa a 5%	
SAVI ₅₀₀ x C _{Densitômetro}	0,06	Não significativa a 5%		0,01	Não significativa a 5%	
SAVI ₁₀₀₀ x C _{Densitômetro}	0,05	Não significativa a 5%		0,001	Não significativa a 5%	

Tabela 4.10. Comparações dos valores de EVI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.

	Período chuvoso			Período seco		
	R ²	Equação	Intervalo de Confiança	R ²	Equação	Intervalo de Confiança
EVI ₂₅₀ x IAF	0,15	y=5,0x+0,2	$\beta 1 \neq 1$	0,02	y=0,9x+1,8	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$
EVI ₅₀₀ x IAF	0,02	y=2,9x+1,5	$\beta 1 \neq 1$	0,004	y=0,6x+2,1	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$
EVI ₁₀₀₀ x IAF	0,06	y=-3,4x+4,9	$\beta 0 \neq 0$	0,07	y=3,1x+1,1	$\beta 1 \neq 1$
EVI ₂₅₀ x IAV _{LAI-2000}	0,01	Não significativa a 5%		6×10^{-5}	Não significativa a 5%	
EVI ₅₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,03	Não significativa a 5%		0,003	Não significativa a 5%	
EVI ₁₀₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,06	Não significativa a 5%		0,02	Não significativa a 5%	
EVI ₂₅₀ x IAV _{Fotografias}	0,04	Não significativa a 5%		0,02	Não significativa a 5%	
EVI ₅₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,01	Não significativa a 5%		0,01	Não significativa a 5%	
EVI ₁₀₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,11	y=-2,3x+3,3	$\beta 0 \neq 0$	0,004	Não significativa a 5%	
EVI ₅₀ x C _{Densitômetro}	0,03	Não significativa a 5%		0,03	Não significativa a 5%	
EVI ₅₀₀ x C _{Densitômetro}	0,04	Não significativa a 5%		0,002	Não significativa a 5%	
EVI ₁₀₀₀ x C _{Densitômetro}	0,04	Não significativa a 5%		3×10^{-4}	Não significativa a 5%	

Tabela 4.11. Comparações dos valores de NDWI obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra e VGT/SPOT com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.

	Período chuvoso			Período seco		
	R ²	Equação	Intervalo de Confiança	R ²	Equação	Intervalo de Confiança
NDWI ₂₅₀ x IAF	0,19	y=5,2x-0,8	$\beta 1 \neq 1$	0,01	y=1,07+1,7	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$
NDWI ₅₀₀ x IAF	0,04	y=1,9x+1,6	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$	0,05	y=1,5x+1,4	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$
NDWI ₁₀₀₀ x IAF	0,02	Y=1,5x+2,6	$\beta 0 \neq 0; \beta 1 \neq 1$	1×10^{-5}	Não significativa a 5%	
NDWI ₂₅₀ x IAV _{LAI-2000}	0,18	y=3,5x-0,04	$-0,2 < \beta 1 < 7,3$	0,01	Não significativa a 5%	
NDWI ₅₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,22	y=3,5x+0,03	$\beta 1 \neq 1$	0,03	Não significativa a 5%	
NDWI ₁₀₀₀ x IAV _{LAI-2000}	0,02	Não significativa a 5%		0,08	Não significativa a 5%	
NDWI ₂₅₀ x IAV _{Fotografias}	0,15	y=2,4x+0,3	$-0,4 < \beta 1 < 5,3$	0,001	Não significativa a 5%	
NDWI ₅₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,09	Não significativa a 5%		0,13	y=1,2x+1,0	$\beta 0 \neq 0$
NDWI ₁₀₀₀ x IAV _{Fotografias}	0,01	Não significativa a 5%		0,02	Não significativa a 5%	
NDWI ₅₀ x C _{Densitômetro}	0,01	Não significativa a 5%		0,01	Não significativa a 5%	
NDWI ₅₀₀ x C _{Densitômetro}	0,20	y=69x+21,1	$\beta 1 \neq 1$	0,006	Não significativa a 5%	
NDWI ₁₀₀₀ x C _{Densitômetro}	0,01	Não significativa a 5%		0,005	Não significativa a 5%	

Tabela 4.12. Comparações dos valores de IAF_{MOD} , $fAPAR$ e GPP obtidos a partir dos produtos MODIS/Terra com os dados biofísicos nas duas estações climáticas.

	Período chuvoso			Período seco		
	R^2	Equação	Intervalo de Confiança	R^2	Equação	Intervalo de Confiança
$IAF_{MOD} \times IAF$	0,02	$y=0,08x+2,6$	$\beta_0 \neq 0; \beta_1 \neq 1$	0,02	Não significativa a 5%	
$IAF_{MOD} \times IAV_{LAI-2000}$	0,0003	Não significativa a 5%		0,04	Não significativa a 5%	
$IAF_{MOD} \times IAV_{Fotografias}$	0,002	Não significativa a 5%		0,21	$y=0,06x+1,4$	$\beta_0 \neq 0$
$fAPAR_{MOD} \times IAF$	0,007	$y=0,69x+2,5$	$\beta_0 \neq 0; \beta_1 \neq 1$	0,005	Não significativa a 5%	
$fAPAR_{MOD} \times IAV_{LAI-2000}$	3×10^{-5}	Não significativa a 5%		0,02	Não significativa a 5%	
$fAPAR_{MOD} \times IAV_{Fotografias}$	0,003	Não significativa a 5%		0,16	$y=0,5x+1,3$	$\beta_0 \neq 0$
$GPP_{MOD} \times IAF$	0,03	$y=12,9x+2,4$	$\beta_0 \neq 0; \beta_1 \neq 1$	0,01	Não significativa a 5%	
$GPP_{MOD} \times IAV_{LAI-2000}$	0,001	Não significativa a 5%		0,03	Não significativa a 5%	
$GPP_{MOD} \times IAV_{Fotografias}$	0,01	Não significativa a 5%		0,15	$y=5,0x+1,3$	$\beta_0 \neq 0$

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foi verificada a aderência entre medidas de Índice de Área Foliar (IAF) calculadas pelo método destrutivo e as estimativas de Índice de Área de Vegetação (IAV) obtidas com o equipamento LAI-2000 e a partir de fotografias hemisféricas de plantios de *Eucalyptus* spp. em dois períodos climáticos do ano. Paralelamente, foram adquiridas medidas de cobertura florestal (C) e densidade do dossel (D) a fim de verificar o comportamento dessas variáveis nas duas ocasiões e sua relação com os demais parâmetros. Além disso, foi avaliada a relação das variáveis biofísicas obtidas em nível terrestre com dados orbitais dos sensores MODIS/Terra e VGT/SPOT.

Os métodos indiretos foram capazes de detectar diminuição nos valores de IAV entre o período chuvoso e o período seco, assim como o IAF calculado pelo método destrutivo. Em termos absolutos, as estimativas de IAF e IAV diferiram entre si, com tendência dos valores calculados a partir das técnicas indiretas serem inferiores àqueles alcançados pelo método destrutivo. Com a diminuição da densidade de folhas no dossel durante a estação seca, assumindo o método destrutivo como referência, o potencial do emprego das fotografias hemisféricas e do LAI-2000 diminuiu, provavelmente devido ao maior distanciamento entre as copas. Neste sentido, para trabalhos futuros neste tipo de dossel descontínuo e de distribuição não aleatória, sugere-se que as estimativas de IAV obtidas a partir dos métodos indiretos sejam corrigidas quanto à aglomeração e sobreposição das copas.

Os valores de cobertura florestal (C) e densidade do dossel (D) também diminuíram entre as duas estações e as relações estabelecidas com os demais dados foram significativas principalmente durante o período chuvoso. Consideram-se estes resultados interessantes devido à metodologia que utiliza o densitômetro vertical ser uma alternativa de baixo custo e independente das condições de luminosidade e atmosféricas.

De maneira geral, a caracterização espectral dos talhões realizada a partir dos dados orbitais MODIS/Terra e VGT/SPOT foi sensível às variações do dossel entre o período chuvoso e o seco. Também os valores dos índices de vegetação (IV) gerados (NDVI, SAVI, EVI e NDWI) diminuíram entre as duas estações. No entanto, os dados orbitais

não apresentaram relações significativas com as estimativas obtidas em nível terrestre. Para pesquisas futuras, deve-se considerar o tamanho dos talhões avaliados para selecionar a resolução espacial do sensor, de maneira a evitar a interferência de alvos próximos aos talhões nos pixels representativos dos plantios.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A.C.; SOARES, J.V. Comparação entre o uso de água em plantações de *Eucalyptus grandis* e floresta ombrófila densa (Mata Atlântica) na costa leste do Brasil. **Revista Árvore**, v. 27, p.159-170, 2003.
- BARTELINK, H.. Allometric relationships for biomass and leaf area of beech (*Fagus Sylvatica* L). **Annales des Sciences Forestieres**, v. 54, p. 39–50, 1997.
- BEADLE, C.L., TURNBULL, C.R.A. Comparative growth rates of *Eucalyptus* in native forest and in plantation monoculture. In: CALDER, I.R., HALL, R.L., ADLARD, P.G. (eds.), **Growth and water use of forest plantations**. Chichester: Wiley, p. 318–331. 1992.
- BRACELPA - Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Setor de celulose e papel do Brasil é referência mundial**. Disponível em: <http://www.bracelpa.org.br/bra/index.html>. Acesso em: 02/12/2011.
- BRÉDA, N.J.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 54, n. 392, p. 2043-2417, Nov. 2003.
- CAMPBELL, G. S.; NORMAN, J. M. The description and measurement of plant canopy structure. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. (ed.). **Plant canopies: their growth, form and function**. Cambridge: Cambridge University Press, 1989. chap. 1, p. 1- 19.
- CAMPOE, O. C. **Efeito de práticas silviculturais sobre a produtividade primária líquida de madeira, o índice de área foliar e a eficiência do uso da luz em plantios de restauração da Mata Atlântica**. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luis de Queiroz”, Universidade de São Paulo, 120 p, 2008.
- CAMPOS, R.C. **GRART: modelo de transferência radiativa para dosséis agrícolas esparsos**. 2008. 146p. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2008. Disponível em: <http://mtcm18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtcm18@80/2009/02.06.17.52/doc/TESE_FINAL_0812bcp_pg.doc>. Acesso em: 09/02/2011.
- CANAVESI, V.; PONZONI, F. J. Relações entre variáveis dendrométricas de plantios de *Eucalyptus* sp. e valores de FRB de superfície de imagens do sensor TM/Landsat 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13. (SBSR), 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. p. 1619-1625. CD-ROM; On-line. ISBN 978-85-17-00031-7. (INPE-16284-PRE/10864). Disponível em: <<http://urlib.net/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.10.20.48>>. Acesso em: 04/01/2011.

- CARUZZO, A.; ROCHA, H.R. Estimativa do índice de área foliar (IAF) em regiões de pastagem e floresta com um método indireto (gap fraction) durante o experimento AMC/LBA. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: SBMet, p. 2478-2485, 2000.
- CHAVES, R. A.; REIS, M. G. F.; REIS, G. G.; PEZZOPANE, J. E. M.; XAVIER, A.; MONTE, M. A. Dinâmica de cobertura de dossel de povoamentos de clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex-Maiden submetidos a desrama artificial e desbaste. **Revista Árvore**, v. 31, n.6, p.989-998, 2007.
- CHEN, J.M.; BLACK, T.A. Foliage area and canopy architecture of plant canopies from sunfleck size distributions. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 60, p. 249-266, 1992.
- CHEN, J.M.; CIHLAR, J. Plant canopy gap-size analysis theory for improving optical measurement of leaf-area index. **Applied Optics**, v. 34, p. 6211-6222, 1995.
- CHEN, J. M., RICH, P. M., GOWER, S. T., NORMAN, J. M. & PLUMMER, S. Leaf area index of boreal forests: Theory, techniques, and measurements. **Journal of Geophysical Research**, v. 102, p. 429-443, 1997.
- COLOMBO, R.; MERONI, M.; MARCHESI, A.; Busetto, L.; ROSSINI, M.; GIARDINO, C.; PANIGADA, C. Estimation of leaf and canopy water content in poplar plantations by means of hyperspectral indices and inverse modeling. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 1820-1834, 2008.
- DARVISHZADEH, R.; SKIDMORE, A.; SCHLERF, M.; ATZBERGER, C. Inversion of radiative transfer model for estimating vegetation LAI and chlorophyll in a heterogeneous grassland. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 2592-2604, 2008.
- DAUGHTRY, C.S.T. Direct measurements of canopy structure. **Remote Sensing Reviews**, v. 5, p. 45–60, 1990.
- DELTA-T DEVICES LTD. 2009. **HemiView user manual**. Cambridge, UK: Burwell 79 p.
- DOVEY, S. B.; DU TOIT, B. Calibration of LAI-2000 canopy analyser with leaf area index in a young eucalypt stand. **Trees**, v. 20, p. 273–277, 2006.
- DYE, D. G., GOWARD, S. N.. Photosynthetically active radiation absorbed by global land vegetation in August 1984, **International Journal of Remote Sensing**, v. 14, n. 18, p. 3361–3364, 1993.
- FANG, H.; WEI, S.; LIANG, S. Validation of MODIS and CYCLOPES LAI products using global field measurement data. **Remote Sensing of Environment**, v. 119, p. 43–54, 2012.

FORRESTER, D.; MEDHURST, J.L.; WOOD, M.; BEADLE, C.L.; VALENCIA, J.C. Growth and physiological responses to silviculture for producing solid-wood products from *Eucalyptus* plantations: An Australian perspective. **Forest Ecology and Management**, v. 259, n. 9, p. 1819-1835, 2010.

FRAZER, G.W.; CANHAM, C.D.; LERTZMAN, K.P. **Gap Light Analyzer (GLA):** version 2.0: Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs. , Millbrook, New York: Simon Fraser University, Burnaby, British Columbia, and the Institute of Ecosystem Studies.1999. Disponível em: <<http://rem.sfu.ca/forestry/downloads/Files/GLAV2UsersManual.pdf>>. Acesso em: 15/11/2010.

GAO, B. C. NDWI - A Normalized difference water index for remote sensing of vegetation liquid water from space. **Remote Sensing of Environment**, v. 58, p. 257-266, 1996.

257- 266, 1996. GOEL, N.S. Models of vegetation canopy reflectance and their use in estimation of biophysical parameters from reflectance data. **Remote Sensing Reviews**, v. 4, p. 1-212, 1988.

GOWER, S.T.; KUCHARIK, C.J.; NORMAN, J.M. Direct and Indirect Estimation of Leaf Area Index, fAPAR, and Net Primary Production of Terrestrial Ecosystems. **Remote Sensing of Environment**, v.70, p. 29–51, 1999.

GOWER, S.T., NORMAN, J.M. Rapid estimation of leaf-area index in conifer and broad-leaf plantations. **Ecology**, v. 72, p. 1896–1900, 1991.

GUYON, D.; GUILLOT, M.; VITASSE, Y.; CARDOT, H.; HAGOLLE, O.; DELZON, S.; WIGNERON, J. Monitoring elevation variations in leaf phenology of deciduous broadleaf forests from SPOT/VEGETATION time-series. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 615–627, 2011.

HEINSCH, F. A.; REEVES, M.; VOTAVA, P.; KANG, S.; MILESI, C.; ZHAO, M.; GLASSY, J.; JOLLY, W. M. **User's guide: GPP and NPP (MOD17A2/A3) products NASA MODIS land algorithm version 2.0.** 57 p. Disponível em: <http://www.nts.gov/umt.edu/modis/MOD17UsersGuide.pdf>. 2003. Acesso em: 18/04/2011.

HEINSCH, F. A.; ZHAO, M.; RUNNING, S. W.; KIMBALL, J. S.; NEMANI, R. R.; DAVIS, K. J. Evaluation of remote sensing based terrestrial productivity from MODIS using regional tower eddy flux network observations. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 44, p.1908–1925, 2006.

HOFFER, R.M. Biological and physical considerations in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data. In: Swain P. H.; Davis S. M. ed. **Remote sensing: the quantitative approach**. [S.l.]: McGraw-Hill, p. 227-290, 1978.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index (SAVI). **Remote Sensing of Environment**, v. 25, p. 295-309, 1988.

HUETE, A. R.; DIDAN, K.; MIURA, T.; RODRIGUEZ, E.; GAO, X.; FERREIRA, L. G. Overview of the radiometric and biophysical performance of the MODIS vegetation indices (Special Issue). **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p.195–213, 2002.

JENNINGS, S.B.; BROWN, N.D.; SHEIL, D. Assessing forest canopies and understorey illumination: canopy closure, canopy cover and other measures. **Forestry**, v. 72, n. 2, p. 59-74, 1999.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

JONCKHEERE, I.; FLECK, S.; NACKAERTS, K.; MUYS, B.; COPPIN, P.; WEISS, M.; BARET, F. Review of methods for in situ leaf area index determination – Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, p.19-35, 2004.

JUSTICE, C. O.; VERMOTE, E.; TOWNSEND, J. R. G.; DEFRIES, R.; ROY, D. P.; HALL, D. P.; SALOMONSON, V. V.; PRIVETTE, J. L.; RIGGS, G.; STRAHLER, A.; LUCHT, W.; MYNENI, R.; KNYAZIKHIN, Y.; RUNNING, S. W.; NEMANI, R. R.; WAN, Z.; HUETE, A.; VAN LEEUWEN, W.; WOLFE, R. E.; GIGLIO, L.; MULLER, J.-P.; LEWIS, P.; BARNESLEY, M. J. The moderate resolution imaging spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, p. 1228 – 1249, 1998.

KAWE, M. G.; DISNEY, M. I.; QUARF, T.; LEWIS, P. WILLIAMS, M. An assessment of the MODIS collection 5 leaf area index product for a region of mixed coniferous forest. **Remote Sensing of Environment**, v.115, p. 767–780. 2011.

KOBAYASHI, H.; SUZUKI, R.; KOBAYASHI, S. Reflectance seasonality and its relation to the canopy leaf area index in an eastern Siberian larch forest: Multi-satellite data and radiative transfer analyses. **Remote sensing of Environment**, v. 106, p. 238-252, 2007.

KUTNER, M. H.; NACHTSHEIM, C. J.; NETER, J.; LI, W. **Applied linear statistical models**. New York, USA: McGraw-Hill, 1396 p, 2005.

LANDSBERG, J.J.; WARING, R.H. A generalized model of forest productivity using simplified concepts of radiation-use efficiency, carbon balance and partitioning. **Forest Ecology and Management**, v. 95, p. 209-228, 1997.

LANG, A.R.G.; MCMURTRIE, R.E. Total leaf areas of single trees of *Eucalyptus grandis* estimated from transmittances of the sun's beam. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.58, p.79-92, 1992.

LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Editora Rima, 550p, 2006.

LASAPONARA, R. Estimating spectral separability of satellite derived parameters for burned areas mapping in the Calabria region by using SPOT-Vegetation data. **Ecological modelling**, v. 196, p. 265–270, 2006.

LATORRE, M.L.; SHIMABUKURO, Y.E.; ANDERSON, L.O. Produtos para ecossistemas terrestres (MODLAND). In: RUDORFF, B.F.T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J.C. (eds.): O sensor MODIS e suas aplicações ambientais no Brasil. São José dos Campos: Ed. Bookimage, p. 23 – 36, 2007.

LEBLANC, S.G.; CHEN, J.M. A practical scheme for correcting multiple scattering effects on optical LAI measurements. **Agricultural Forest Meteorological**, v. 110, p. 125-139, 2001.

LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; VERHOEF, W.; PONZONI, F. J.; LO SEEN, D.; BÉGUÉ, A.; STAPE, J.; NOUVELLON, Y. Leaf area index estimation with MODIS reflectance time series and model inversion during full rotations of *Eucalyptus* plantations. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, n.2. p. 586-599, 2011a.

LE MAIRE, G.; MARSDEN, C.; PONZONI, F. J.; VERHOEF, W.; LO SEEN, D.; BÉGUÉ, A.; STAPE, J.; NOUVELLON, Y. Calibration of a vegetation index to monitor *Eucalyptus* plantation leaf area index with MODIS reflectance time-series. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 15., Curitiba, PR, Brasil, **Anais...** São José dos Campos: INPE, p.1811, 2011b.

LE DANTEC, V.; DUFRENE, E.; SAUGIER, B. Interannual and spatial variation in maximum leaf area index of temperate deciduous stands. **Forest Ecology and Management**, v. 134, p.71–81, 2000.

LIANG, S. Canopy Reflectance Modeling. In: Hoboken, NJ: John Wiley & Sons: **Quantitative remote sensing of land surfaces**. Wiley Series in Remote Sensing, 2004.

LI-COR. **LAI – 2000 plant canopy analyzer**. Lincon, USA: Instruction manual. LICOR, 1992.

LOWMAN, M.D.; NADKARNI, N.M. **Forest canopies**. San Diego: Academic Press, 624 p, 1995.

MACFARLANE, C. ; ARNDT, S. K.; LIVESLEY, S. J.; EDGAR, DONALD, A. C. A.; ADAMS, M. A.; EAMUS, D. Estimation of leaf area index in eucalypt forest with vertical foliage, using cover and fullframe fisheye photography. **Forest Ecology and Management**, v. 242, p. 756–763, 2007a.

MACFARLANE, C.; GRIGG, A.; EVANGELISTA, C. Estimating forest leaf area using cover and fullframe fisheye photography: Thinking inside the circle. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 146, p. 1–12. 2007b.

MACFARLANE, C., HOFFMAN, M., EAMUS, D., KERP, N., HIGGINSON, S., MCMURTRIE, R., ADAMS, M. Estimation of leaf area index in eucalypt forest using digital photography. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 143, n. 3–4, p. 176–188. 2007c.

MAESTRI, R. **Modelo de crescimento e produção para povoamentos clonais de *Eucalyptus grandis* considerando variáveis ambientais**. Dissertação (Doutorado em Engenharia Florestal) — Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 143 p., 2003.

MARSDEN, C.; MAIRE, G. L.; STAPE, J.L.; SEEN, D.L.; ROUPSARD, O.; CABRAL, O.; EPRON, D.; LIMA, A.M.N.; NOUVELLON, Y. Relating MODIS vegetation index time-series with structure, light absorption and stem production of fastgrowing *Eucalyptus* plantations. **Forest Ecology and Management**, v. 259, p. 1741-1753, 2010.

MILTON, E. J. Principles of field spectroscopy. **International Journal of Remote Sensing**, v. 8, n. 12, p.1807-1927, 1987.

MONSI, M.; SAEKI, T. On the factor light in plant communities and its importance for matter production. **Annals of Botany**, v. 95, p. 549–567, 2005.

MYNENI, R. B., HALL, F. G., SELLERS, P. J., MARSHAK, A. L. The interpretation of spectral vegetation indexes, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 33, p. 481–486, 1995.

MYNENI, R. B., HOFFMAN, S., KNYAZIKHIN, Y., PRIVETTE, J. L., GLASSY, J., TIAN, Y., WANG, Y., SONG, X., ZHANG, Y., SMITH, G. R., LOTSCH, A., FRIEDL, M., MORISETTE, J. T., VOTAVA, P., NEMANI, R. R. E RUNNING, S. W. Global products of vegetation leaf area and fraction absorbed PAR from year one of MODIS data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, p. 214-231, 2002.

MYNENI, R. B. et al. **User's guide FPAR, LAI (ESDT: MOD15A2) 8-day Composite NASA MODIS land algorithm**. Disponível em: <http://cybele.bu.edu/modismisr/products/modis/userguide.pdf>

NIGHTINGALE, J.M.; COOPS, N.C.; WARING. H.; HARGROVE W.W. Comparison of MODIS gross primary production estimates for forests across the U.S.A. with those generated by a simple process model, 3-PGS. **Remote Sensing of Environment**, v.109, p. 500–509, 2007.

NOBIS, M.; HUNZIKER, U. Automatic thresholding for hemispherical canopy photographs based on edge direction. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 128, p243-250, 2005.

NORMAN, J.M.; CAMPBELL, G.S. Canopy structure. In: PEARCY, R.W.; EHRLINGER, J.R.; MOONEY, H.; RUNDEL, P.W. (Ed.). **Plant physiological ecology: field methods and instrumentation**. London: Chapman and Hall, chap. 14, p. 301-326, 1992.

NORMAN, J. M.; WELLES, J.M. Radiative transfer in an array of canopies. **Agronomy Journal**, v.75, p.481–488, 1983.

OLIVEIRA, L. M. T.; FRANÇA, G. B.; COSTA, T. C. C.; ANTUNES, M. A. H.; FRANÇA, J. R. A. Estudo da FAPAR em regiões fitoecológicas brasileiras através de série temporal derivada do NDVI/AVHRR. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2855-2863, 2009.

NACKAERTS, K. Modelling of leaf area index as a scale integrated indicator in forest monitoring, **Ph. D. dissertation**, Kuleuven, Belgium, 2002.

NASA Land Processes Distributed Active Archive Center (LP DAAC). **MODIS Land Products Quality Assurance Tutorial: Part-1**. 2012. Disponível em: https://lpdaac.usgs.gov/products/modis_products_table.

NETER, J.; WASSERMAN, W. **Applied linear statistical models. regression, analysis of variance and experimental designs**. Illinois: Irwin-Dorsey Ltd., Inc., 842 p., 1974.

NEUMANN, H.H., DEN HARTOG, G.D., SHAW, R.H. Leaf area measurements based on hemispheric photographs and leaf-litter collection in a deciduous forest during autumn leaf-fall. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 45, p. 325–345, 1989.

NILSON, T. A theoretical analysis of the frequency of gaps in plant stands. **Agriculture and Meteorology**, v. 8, p. 25-38, 1971.

PACHECO, L. R. F. P. **Caracterização estrutural a partir de modelos empíricos e avaliação do modelo GRART na caracterização espectral de dosséis de *Eucalyptus* spp.** 2010. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. 167p, 2010.

PAIVA, Y.G. **Estimativa do Índice de Área Foliar por métodos óticos e sensoriamento remoto para calibrar modelo ecofisiológico em plantios de eucalipto em áreas de relevo ondulado**. Dissertação (Pós-Graduação em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 2009.

PAIVA, Y. G.; RIBEIRO, A.; ALMEIDA, A. Q.; GLERIANI, J. M.; PEZZOPANE, J. E. M. Estimativa do Índice de Área Foliar (IAF) através de Fotografias Hemisféricas e Índices de Vegetação em plantios clonais de Eucalipto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO (SBSR), 14, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, p. 2873-2880, 2009.

PANOSO, L. A.; GOMES, I. A.; PIRES-FILHO, A. M.; BONELLI, S. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Espírito Santo**. Rio de Janeiro: EMBRAPA-SNLCS, 461 p. il. (EMBRAPA-SNLCS. Boletim técnico, n. 45), 1978.

PEREIRA, M. R. R.; KLAR, A. E.; MELHORANÇA FILHO, A. L.; RODRIGUEZ, A. C. P.; SILVA, M. R. Influência de solos de diferentes texturas no desenvolvimento de plantas de *Eucalyptus urograndis* submetidas a déficit hídrico. **Irriga**, Botucatu, v. 13, n. 2, p. 249-260, 2008.

PHILLIP, M. S. **Measuring trees and forests**. Oxford: CAB international, 310p., 1994.

- PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, SP: Silva e Vieira, 135p., 2007.
- RODRÍGUEZ, R.; REAL, P.; ESPINOSA, M.; PERRY, D. A. A process-based model to evaluate site quality for *Eucalyptus nitens* in the Bio-Bio Region of Chile. **Forestry**, v. 82, n.2, p.149-162, 2009.
- ROSS, J. **The radiation regime and architecture of plant stands**. London: Junk, 1981. 391 p.
- ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W., HARLAN, J. C. **Monitoring the vernal advancement retrogradation of natural vegetation**. Final Report Type III - NASA/GSFC, 1974.
- RYU, Y., SONNENTAG, O., NILSON, T., VARGAS, R., KOBAYASHI, H., WENK, R., BALDOCCHI, D.D. How to quantify tree leaf area index in a heterogeneous savanna ecosystem: a multi-instrument and multi-model approach. **Agricultural and Forest Meteorology** 150, 63–76, 2010.
- SAINT, G. Vegetation on board SPOT 4, products specifications. Institute for Remote Sensing Applications, Joint Research Center, European Commission, **Ispra**, Italy, p.11. 1994. Disponível em: <http://www.vgt.vito.be/pdf/prod2.pdf>
- SCHLEPPI, P.; CONEDERA, M.; SEDIVY, I.; THIMONIER, A. Correcting non-linearity and slope effects in the estimation of the leaf area index of forests from hemispherical photographs. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 144, p. 236-242, 2007.
- SCOLFORO, J. R. **O mundo eucalipto: os fatos e mitos de sua cultura**. Rio de Janeiro: Mar de Idéias, 70p, ISBN (978-85-60458-04-2), 2008.
- SEA, W. B.; CHOLERB, P; BERINGER, J.; WEINMANND, R. A.; HUTLEY, L. B.; LEUNING, R. Documenting improvement in leaf area index estimates from MODIS using hemispherical photos for Australian savannas. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 151, p. 1453– 1461, 2011.
- SETTE Jr, C. R.; TOMAZELLO FILHO, M.; DIAS, C.T.S.; LACLAU, J.P. Crescimento em diâmetro do tronco das árvores de *Eucalyptus grandis* W. Hill. ex. Maiden e relação com as variáveis climáticas e fertilização mineral. **Revista Árvore**, v. 34, n.6, p.979-990, 2010.
- SMITH, F.W., SAMPSON, D.A., LONG, J.N. Comparison of leaf area index estimates from tree allometrics and measured light interception. **Forest Science**, v. 37, p. 1682– 1688, 1991.
- SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. de; PENCHEL, R. M.. Hydrological balance of eucalypt plantations through transpiration by the method of Penman-Monteith. **Proceedings...** In: International Union of Forest Research Organizations (IUFRO) Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts, 1997, Salvador, v. 4, p. 52-61, 1997.

SOARES, J. V.; BATISTA, G. T.; SHIMABUKURO, Y. E. Histórico e descrição. In: RUDORFF, B. F. T.; SHIMABUKURO, Y. E.; CEBALLOS, J. C. (Ed.). **O sensor Modis e suas aplicações ambientais no Brasil**. São José dos Campos: A.Silva Ed, p. 1-18, 2007.

SOLANO, R.; DIDAN, K.; JACOBSON, A.; HUETE, A. **MODIS Vegetation Indices (MOD13) C5 User's Guide**. Terrestrial Biophysics and Remote Sensing Lab. University of Arizona. Version 1.00. Maio, 2010.

SOUSA, C. L.; PONZONI, F. J. Avaliação de índices de vegetação e de bandas TM/Landsat para estimativa de volume de madeira em floresta implantada de Pinus spp. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 9, Santos, SP. **Anais...** Rio de Janeiro: INPE, 1998.

SOUZA, M. J. H.; RIBEIRO, A.; LEITE, H. G.; LEITE, F. P.; MINUZZI, R. B. Disponibilidade hídrica do solo e produtividade do eucalipto em três regiões da bacia do Rio Doce. **Revista Árvore**, v.30, n.3, p.399-410, 2006.

SPRINTSIN, M.; KARNIELI, A.; BERLINER, P.; ROTENBERG, E.; YAKIR, D.; COHEN, S. The effect of spatial resolution on the accuracy of leaf area index estimation for a forest planted in the desert transition zone. **Remote Sensing of Environment**, v. 109, p. 416–428, 2007.

STAPE, J. L.; RYAN, M. G.; BINKLEY, D. Testing the utility of the 3-PG model for growth of *Eucalyptus grandis-urophylla* with natural and manipulated supplies of water and nutrients. **Forest Ecology and Management**, v. 193, p. 219–234, 2004.

STENBERG, P.; NILSON, T.; SMOLANDER, S.; VOIPIO, P. Gap fraction based estimation of LAI in scots pine stands subjected to experimental removal of branches and stems. **Canadian Journal of Remote Sensing**, v 29, p.363–370, 2003.

STUMPF, K.A. The estimation of forest vegetation cover descriptions using a vertical densitometer. In: POINT INVENTORY AND BIOMETRICS WORKING GROUPS SESSION AT THE SAF NATIONAL CONVENTION, 1993, Indianapolis.

Proceedings... Indianapolis, 1993. Disponível em:

<www.grsis.com/publications/index.htm> Acesso em: 15/11/2010.

TATAGIBA, S.D.; PEZZOPANE, J. E. M.; REIS, E. F.; DARDENGO, M.C. J. D.; EFFGEN, T.A.M. Comportamento fisiológico de dois clones de *Eucalyptus* na época seca e chuvosa. **Cerne**, v. 13, n. 2, p. 149-159, 2007.

TONELI, C. A. Z.; VIEIRA, S. R.; FERRAZ FILHO, A. C.; BRITO, A.; ARAUJO, E. J. G.; MARTINS, G. S.; HIGASHIKAWA, E. M. Análise da relação entre a estrutura do dossel a partir de fotografias hemisféricas e dados dendrométricos de inventário florestal, conduzido em um povoamento de *Eucalyptus grandis*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, (SBSR), 13., 2007, Florianópolis. **Anais...**São José dos Campos: INPE, p. 1891-1898, 2009.

TONELLO, K. C. **Comportamento ecofisiológico de clones de *Eucalyptus***. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP: 2010.

THIMONIER, A.; SEDIVY, I.; SCHLEPPI, P. Estimating leaf area index in different types of mature forest stands in Switzerland: A comparison of methods. **European Journal of Forest Research**, v. 129(4), p. 543–562, 2010.

VARGAS, L. A.; ANDERSEN, M.N.; JENSEN, C.R.; JORGENSEN, U. Estimation of leaf area index, light interception and biomass accumulation of *Miscanthus sinensis* ‘Goliath’ from radiation measurements. **Biomass and Bioenergy**, v. 22, p.1–14, 2002.

VANCUTSEM, C.; PEKEL, J-F.; EVRARD, C.; MALAISSE, F.; DEFOURNY, P. Mapping and characterizing the vegetation types of the Democratic Republic of Congo using SPOT VEGETATION time series. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 11, p. 62–76, 2009.

VERMOTE, E. F.; KOTCHENOVA, S. Y.; RAY, J. P. **MODIS surface reflectance user’s guide**. 2011. Disponível em: <http://modis-sr.ltdri.org/products/MOD09_UserGuide_v1_3.pdf>. Acesso em: 08/09/2011.

VERMOTE, E. F.; VERMEULEN, A. **Atmospheric correction algorithm: spectral reflectances (MOD09)**. 1999. Disponível em: <http://modis.gsfc.nasa.gov/data/atbd/atbd_mod08.pdf>.

VERTESSY, R.A.; BENYON, R. G.; O’SULLIVAN, S. K.; GRIBBEN, P. R. Relationships between stem diameter, sapwood area, leaf area and transpiration in a young mountain ash forest. **Tree Physiology**, v. 15, p. 559-567, 1995.

WANG, Y.P.; JARVIS, P.G. Description and validation of an array model – MAESTRO. **Agricultural and Forest Meteorology**, v. 5, p. 257-280, 1990.

WEISS, M., BARET, F., SMITH, G. J., JONCKHEERE, I. & COPPIN, P. Review of methods for in situ leaf area index (LAI) determination Part II. Estimation of LAI, errors and sampling. Elsevier Science Publishers. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.121, p. 37-53, 2003.

WELLES, J.M., NORMAN, J.M. Instrument for indirect measurement of canopy architecture. **Agronomy Journal**, v. 83, p. 818–825, 1991.

XAVIER, A.C.; SOARES, J. V.; ALMEIDA, A. C. Variação do índice de área foliar em clones de eucalipto ao longo de seu ciclo de crescimento. **R. Árvore**, Viçosa-MG, v. 26, n.4, p.421-427, 2002.

ZHANG, Y.; CHEN, J. M.; MILLER, J. R. Determining digital hemispherical photograph exposure for leaf area index estimation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.133, p.166-181, 2005.

ZHENG, G.; L.M. MOSKAL. Retrieving Leaf Area Index (LAI) using remote sensing: theories, methods and sensors. **Sensors**, v. 9, p. 2719-2745, 2009.

APÊNDICE A – MÉDIAS DOS DADOS DENDROMÉTRICOS CO ETADOS DURANTE O PERÍODO CHUVOSO

Parcela	Idade (meses)	Material genético	Manejo	Tipo de solo	Espaçamento	Inventário Florestal (Parcela de 400 m2)									10 árvores centrais			
						CAP (cm)	Desvio CAP (cm)	DAP (cm)	Desvio DAP (cm)	Altura (m)	Desvio altura (m)	Inserção da Copa (m)	Comprimento da copa (m)	n árvores parcela	Largura da copa 1 (m)	Largura da copa 2 (m)	Ac (m)	Vc (m)
1	50	E. urograndis M7-1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	48,72	5,80	15,51	1,85	22,22	1,45	15,63	6,59	46	2,85	2,94	6,59	15,21
2	30	G44X641/2	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	39,32	3,38	12,52	1,08	17,37	0,91	10,35	7,02	45	2,94	2,97	6,84	16,70
3	34	E. grandis	Rebrota	PA1	3,0 x 3,0 m	40,20	3,58	12,80	1,14	17,43	0,59	10,65	6,78	47	2,89	2,91	6,60	14,66
4	32	G44X227/1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	36,90	3,39	11,75	1,08	17,23	0,81	10,31	6,92	46	3,23	3,15	8,05	19,41
5	34	E. urograndis M7-1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	36,84	3,49	11,73	1,11	16,88	1,03	10,63	6,25	46	3,23	3,23	8,25	17,53
6	34	G44X487/4	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	43,05	3,50	13,70	1,11	20,84	1,05	13,58	7,26	45	3,52	3,49	9,76	25,71
7	35	G44X641/2	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	40,86	3,14	13,01	1,00	19,18	0,72	13,18	6,00	45	3,46	3,32	9,10	18,98
8	32	E. urograndis M7-1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	38,67	4,52	12,31	1,44	16,95	0,56	10,13	6,82	48	3,30	3,56	9,26	21,31
9	23	E. grandis	Rebrota	LA2	3,0 x 3,0 m	34,03	2,63	10,83	0,84	16,42	0,69	7,27	9,14	44	3,71	3,64	10,61	32,34
10	32	G44X227/1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	40,58	2,62	12,92	0,83	19,68	0,67	11,41	8,28	45	3,32	3,25	8,45	23,41
11	43	G44X641/2	Reforma	ES1	3,0 x 3,0 m	38,08	3,48	12,12	1,11	17,96	0,79	12,26	5,70	49	2,88	3,04	6,94	12,67
12	43	G44X227/1	Reforma	ES1	3,0 x 3,0 m	42,70	5,17	13,59	1,65	20,68	1,09	12,18	8,51	43	3,14	3,36	8,22	23,54
13	47	G44X227/1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	46,97	4,60	14,95	1,46	25,53	1,07	17,45	8,08	46	-	-	0,00	0,00
14	47	E. urograndis M7-1	Reforma	LA1	3,0 x 3,0 m	45,20	2,91	14,39	0,93	22,89	0,62	16,89	6,00	43	2,76	2,69	5,83	12,00
15	19	E. grandis	Rebrota	LA1	3,0 x 3,0 m	30,33	3,03	9,65	0,96	13,22	0,57	6,13	7,09	42	3,98	3,93	8,25	28,91
16	22	E. grandis	Rebrota	LA2	3,0 x 3,0 m	30,31	1,93	9,65	0,61	12,35	0,55	5,22	7,13	42	3,65	3,72	10,69	25,45
17	22	E. grandis	Rebrota	PA9	3,0 x 3,0 m	31,65	2,76	10,08	0,88	13,81	0,65	6,28	7,53	45	3,56	3,66	10,39	25,18
18	29	G44X487/4	Reforma	LA2	3,0 x 3,0 m	37,38	4,21	11,90	1,34	16,17	0,88	8,86	7,31	46	3,52	3,36	9,38	21,53
19	20	E. grandis	Rebrota	PA6	3,0 x 3,0 m	21,31	4,22	6,78	1,34	8,72	1,15	2,88	5,83	43	2,76	2,70	5,92	11,97
20	32	G44X227/1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	37,27	3,25	11,86	1,03	16,26	0,84	7,00	9,26	42	3,37	3,08	8,20	25,28
21	32	G44X227/1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	34,90	4,04	11,11	1,29	16,17	1,08	7,00	9,17	42	3,33	3,13	8,16	24,08
22	22	E. grandis	Rebrota	PA6	3,0 x 3,0 m	21,20	3,18	6,75	1,01	9,32	0,80	3,60	5,72	43	2,83	2,71	6,06	11,81
23	22	E. grandis	Rebrota	PA1	3,0 x 3,0 m	20,43	2,63	6,50	0,84	7,77	0,70	3,84	3,93	43	2,61	2,51	5,20	6,81
24	34	G44X227/1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	36,64	2,52	11,66	0,80	17,56	0,77	10,75	6,81	44	2,99	2,70	6,32	13,97
25	35	E. urograndis M7-1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	39,19	3,31	12,47	1,05	19,82	0,82	13,55	6,26	41	2,93	2,71	6,24	12,64
26	37	G44X641/2	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	36,08	2,86	11,48	0,91	17,28	0,91	11,23	6,05	44	3,05	3,01	7,22	15,13
27	21	E. grandis	Rebrota	PA6	3,0 x 3,0 m	21,82	3,88	6,95	1,24	9,31	0,91	3,29	6,02	45	2,66	2,50	5,26	10,23
28	51	E. grandis	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	42,98	6,76	13,68	2,15	22,21	3,04	17,57	4,59	40	2,73	2,28	4,96	8,10
29	49	G44X641/2	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	45,35	3,95	14,44	1,26	21,56	2,19	15,57	5,99	44	3,53	3,15	8,72	17,49
30	48	G44X227/1	Reforma	PA5	3,0 x 3,0 m	40,57	2,79	12,91	0,89	21,45	1,26	14,63	6,82	42	3,21	2,80	7,05	16,53
31	49	E. grandis	Reforma	PA9	3,0 x 3,0 m	42,90	4,45	13,66	1,42	24,82	2,48	18,88	5,94	43	2,44	2,25	4,39	9,09
32	52	G44X641/2	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	42,77	5,65	13,61	1,80	21,04	2,50	15,88	5,16	45	3,12	3,17	7,81	12,25
33	36	E. urograndis - VC-361	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	39,30	3,58	12,51	1,14	17,57	0,88	10,84	6,73	45	2,90	2,95	6,86	14,50
34	31	G44X487/4	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	35,87	4,79	11,42	1,52	16,84	1,17	9,02	7,83	43	2,68	2,57	5,50	13,57
35	31	G44X227/1	Reforma	PAC3	3,0 x 3,0 m	32,16	3,42	10,24	1,09	14,52	0,79	5,11	9,41	46	3,01	2,98	7,06	21,93
36	31	E. urograndis M7-1	Reforma	PAC3	3,0 x 3,0 m	41,39	3,44	13,17	1,09	19,95	0,79	11,66	8,29	44	3,01	3,10	7,37	20,57

APÊNDICE B – MÉDIAS DOS DADOS DENDROMÉTRICOS COLETADOS DURANTE O PERÍODO SECO

Parcela	Idade (meses)	Material genético	Manejo	Tipo de solo	Espaçamento	Inventário Florestal (Parcela de 400 m2)										10 árvores centrais			
						CAP (cm)	Desvio CAP (cm)	DAP (cm)	Desvio DAP (cm)	Altura (m)	Desvio altura (m)	Inserção da Copa (m)	Comprimento da copa (m)	n árvores parcela	Largura da copa 1 (m)	Largura da copa 2 (m)	Ac (m)	Vc (m)	
1	56	E. urograndis M7-1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	50,51	6,60	16,08	2,10	23,55	1,85	18,31	5,24	46	2,83	2,80	6,33	11,39	
2	36	G44X641/2	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	42,26	3,79	13,45	1,21	20,03	1,01	12,81	7,22	45	2,93	2,86	6,58	16,42	
3	40	E. grandis	Rebrota	PA1	3,0 x 3,0 m	42,68	4,30	13,59	1,37	20,24	0,76	13,57	6,68	47	2,85	2,72	6,17	14,11	
4	38	G44X227/1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	39,38	4,11	12,53	1,31	19,66	1,13	12,92	6,74	46	2,78	2,92	6,39	14,35	
5	40	E. urograndis M7-1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	39,75	4,49	12,65	1,43	19,58	1,36	13,41	6,17	46	2,86	2,75	6,20	12,69	
6	40	G44X487/4	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	44,62	4,07	14,20	1,30	22,14	0,84	15,78	6,36	45	3,19	2,95	7,39	16,36	
7	41	G44X641/2	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	42,97	3,96	13,68	1,26	21,31	0,99	15,61	5,70	45	3,08	2,91	7,12	14,04	
8	38	E. urograndis M7-1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	40,69	4,75	12,95	1,51	20,16	0,90	14,01	6,15	48	2,72	2,82	6,13	12,67	
9	29	E. grandis	Rebrota	LA2	3,0 x 3,0 m	39,58	3,34	12,60	1,06	20,15	0,91	10,42	9,73	44	3,27	3,12	8,10	27,15	
10	38	G44X227/1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	43,37	3,13	13,81	1,00	22,22	0,73	14,20	8,02	45	3,06	3,12	7,51	20,29	
11	49	G44X641/2	Reforma	ES1	3,0 x 3,0 m	39,96	3,97	12,72	1,26	19,95	1,08	14,44	5,51	49	2,47	2,42	4,72	9,05	
12	49	G44X227/1	Reforma	ES1	3,0 x 3,0 m	45,12	5,96	14,36	1,90	22,15	1,39	14,93	7,22	43	3,16	2,87	7,14	17,01	
13	53	G44X227/1	Reforma	PA1	3,0 x 3,0 m	48,20	5,25	15,34	1,67	27,44	1,98	20,37	7,07	46	2,85	2,55	5,81	13,50	
14	53	E. urograndis M7-1	Reforma	LA1	3,0 x 3,0 m	46,25	3,29	14,72	1,05	23,97	0,78	19,37	4,61	43	2,68	2,63	5,53	9,16	
15	25	E. grandis	Rebrota	LA1	3,0 x 3,0 m	36,65	3,94	11,67	1,26	17,40	0,92	8,90	8,50	42	3,49	3,30	6,20	26,89	
16	28	E. grandis	Rebrota	LA2	3,0 x 3,0 m	36,62	2,44	11,66	0,78	15,33	0,88	7,56	7,77	42	3,18	3,04	7,61	19,46	
17	28	E. grandis	Rebrota	PA9	3,0 x 3,0 m	37,20	3,40	11,84	1,08	16,72	0,87	8,62	8,11	45	3,22	3,17	8,19	21,64	
18	35	G44X487/4	Reforma	LA2	3,0 x 3,0 m	40,68	5,44	12,95	1,73	18,13	1,24	11,53	6,60	46	3,05	2,95	7,11	16,73	
19	26	E. grandis	Rebrota	PA6	3,0 x 3,0 m	26,65	4,94	8,48	1,57	11,68	1,41	4,10	7,58	43	2,61	2,63	5,47	13,86	
20	38	G44X227/1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	39,91	3,70	12,70	1,18	18,83	0,81	11,46	7,37	42	3,18	2,95	7,38	19,14	
21	38	G44X227/1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	37,60	4,37	11,97	1,39	17,37	1,21	10,35	7,02	42	3,09	2,74	6,64	15,11	
22	28	E. grandis	Rebrota	PA6	3,0 x 3,0 m	26,07	3,31	8,30	1,05	10,97	0,78	3,93	7,04	43	2,73	2,87	6,18	14,47	
23	28	E. grandis	Rebrota	PA1	3,0 x 3,0 m	24,77	3,09	7,89	0,98	9,78	0,71	4,63	5,15	43	2,63	2,39	4,47	8,12	
24	40	G44X227/1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	39,01	2,84	12,42	0,90	19,96	0,71	12,41	7,55	44	2,89	3,01	6,82	16,83	
25	41	E. urograndis M7-1	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	41,50	3,69	13,21	1,17	21,59	1,16	15,56	6,03	41	2,75	2,73	5,89	11,84	
26	43	G44X641/2	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	38,92	2,75	12,39	0,88	19,75	0,95	13,42	6,33	44	2,81	2,63	5,83	12,41	
27	27	E. grandis	Rebrota	PA6	3,0 x 3,0 m	25,95	4,34	8,26	1,38	11,45	1,21	4,27	7,19	45	2,34	2,44	4,56	10,09	
28	57	E. grandis	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	43,98	6,83	14,00	2,18	23,29	3,23	19,05	4,24	40	2,73	2,58	5,54	7,69	
29	55	G44X641/2	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	45,80	4,07	14,58	1,30	21,63	2,16	16,05	5,57	44	3,18	3,09	7,76	14,58	
30	54	G44X227/1	Reforma	PA5	3,0 x 3,0 m	42,99	3,21	13,68	1,02	21,89	1,11	15,11	6,78	42	3,05	2,78	6,68	15,26	
31	55	E. grandis	Reforma	PA9	3,0 x 3,0 m	43,35	4,74	13,80	1,51	25,00	2,42	19,80	5,21	43	2,42	2,20	4,35	7,71	
32	58	G44X641/2	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	44,51	6,01	14,17	1,91	22,07	2,45	17,01	5,06	45	2,91	2,79	6,36	10,57	
33	42	E. urograndis - VC-361	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	41,90	4,39	13,34	1,40	18,92	0,85	12,11	6,81	45	2,93	3,08	7,15	16,42	
34	37	G44X487/4	Reforma	PA6	3,0 x 3,0 m	38,69	5,80	12,32	1,85	17,99	1,36	11,08	6,91	43	2,73	2,67	5,80	13,46	
35	37	G44X227/1	Reforma	PAC3	3,0 x 3,0 m	35,54	3,57	11,31	1,14	16,92	0,89	8,13	8,79	46	2,93	2,87	6,66	18,59	
36	37	E. urograndis M7-1	Reforma	PAC3	3,0 x 3,0 m	43,49	3,91	13,84	1,25	20,36	1,05	14,44	5,92	44	3,02	2,90	6,84	12,56	

APÊNDICE C – VALORES DE IAF E IAV CALCULADOS PARA CADA PARCELA NOS DOIS PERÍODOS

Parcela	PERÍODO CHUVOSO						PERÍODO SECO					
	IAV Fotografias (m ² /m ²)	Desvio Fotografias (m ² /m ²)	IAV LAI-2000 (m ² /m ²)	Desvio LAI-2000 (m ² /m ²)	AFE (m ² /Kg)	IAF Destrutivo (m ² /m ²)	IAV Fotografias (m ² /m ²)	Desvio Fotografias (m ² /m ²)	IAV LAI-2000 (m ² /m ²)	Desvio LAI-2000 (m ² /m ²)	AFE (m ² /Kg)	IAF Destrutivo (m ² /m ²)
1	2,20	0,15	2,45	0,03	8,20	5,29	1,89	0,04	2,35	0,03	9,48	3,47
2	2,31	0,12	2,54	0,07	9,25	3,97	1,75	0,20	2,25	0,04	8,94	2,74
3	2,32	0,20	2,93	0,04	8,04	4,14	2,25	0,25	2,25	0,02	8,35	2,44
4	2,32	0,18	2,95	0,03	9,90	2,69	1,97	0,07	2,06	0,02	9,67	2,29
5	2,15	0,39	2,92	0,03	10,29	1,70	1,59	0,21	1,6	0,02	9,00	1,74
6	2,43	0,12	3,34	0,02	10,08	3,70	1,79	0,16	1,87	0,02	8,28	2,05
7	2,12	0,04	2,28	0,03	10,49	3,16	1,51	0,10	1,7	0,02	9,60	1,68
8	2,30	0,14	2,67	0,03	9,93	4,04	1,54	0,24	1,91	0,03	9,37	1,09
9	2,69	0,13	4,01	0,04	9,47	4,40	2,20	0,12	2,65	0,03	9,91	1,55
10	2,33	0,27	3,28	0,03	9,21	4,41	2,18	0,15	2,3	0,02	9,38	2,79
11	1,96	0,11	2,38	0,05	9,96	2,58	1,69	0,04	1,76	0,02	10,46	1,77
12	2,20	0,08	3,15	0,03	9,16	3,04	1,96	0,14	2,19	0,02	10,31	3,14
13	1,85	0,17	1,93	0,03	8,95	2,82	1,74	0,08	2,05	0,02	9,23	2,45
14	1,75	0,14	2,63	0,03	7,88	2,37	1,15	0,06	1,68	0,02	8,65	1,68
15	2,44	0,29	2,95	0,04	12,19	3,56	2,00	0,14	1,95	0,04	9,59	2,63
16	3,21	0,33	3,73	0,07	10,23	3,92	1,94	0,16	2,04	0,03	8,16	2,00
17	2,75	0,14	2,95	0,07	10,95	3,19	1,64	0,07	1,85	0,06	9,39	2,48
18	3,04	0,32	3,35	0,03	9,38	4,32	1,77	0,05	1,52	0,04	9,10	3,35
19	1,51	0,17	1,52	0,07	9,09	2,44	1,56	0,06	1,78	0,06	8,68	3,11
20	1,89	0,19	1,94	0,06	8,09	3,22	1,52	0,22	1,8	0,05	8,31	3,12
21	2,05	0,23	2,31	0,04	8,64	3,70	1,72	0,05	2,26	0,02	8,36	2,13
22	1,47	0,07	2,05	0,11	8,65	1,57	1,42	0,17	1,42	0,07	8,54	2,51
23	1,19	0,09	1,55	0,08	8,41	1,75	1,18	0,07	1,62	0,06	8,09	1,44
24	2,22	0,21	3,07	0,04	9,39	3,95	1,86	0,11	2,05	0,02	9,64	3,82
25	1,88	0,34	2,78	0,05	9,14	2,15	1,53	0,16	1,81	0,03	9,92	2,40
26	1,69	0,19	2,03	0,03	8,44	2,69	1,37	0,07	1,79	0,03	9,91	2,36
27	1,63	0,32	2,29	0,05	8,17	2,43	1,57	0,14	2,04	0,02	8,71	2,37
28	1,37	0,19	1,48	0,05	8,47	1,72	1,1	0,01	1,16	0,02	8,02	1,02
29	2,19	0,16	2,87	0,07	9,89	3,61	1,39	0,06	1,75	0,02	9,88	1,80
30	1,87	0,30	2,22	0,05	9,68	1,95	1,17	0,10	1,2	0,03	7,59	2,20
31	1,45	0,16	1,78	0,04	8,12	1,72	1,07	0,10	1,61	0,26	9,11	1,65
32	2,03	0,15	2,52	0,05	10,71	2,91	1,25	0,04	1,63	0,02	8,99	1,65
33	2,17	0,18	2,01	0,06	8,88	3,36	1,73	0,16	2,42	0,02	8,22	2,21
34	2,04	0,31	2,41	0,05	10,12	3,04	1,59	0,13	1,8	0,03	9,39	2,68
35	2,74	0,01	2,79	0,05	10,01	4,15	2,08	0,13	2,7	0,03	9,28	2,67
36	2,12	0,46	2,87	0,05	9,65	3,65	1,81	0,13	2,52	0,03	8,97	2,65

**APÊNDICE D – VALORES DE D E C CALCULADOS PARA CADA PARCELA
NOS DOIS PERÍODOS CLIMÁTICOS**

Parcela	Período chuvoso		Período seco	
	Fotografias	Densitômetro	Fotografias	Densitômetro
	D (%)	C (%)	D (%)	C (%)
1	70	67	67	63
2	77	63	67	73
3	77	74	74	72
4	73	75	49	64
5	81	81	43	50
6	79	78	53	82
7	66	57	49	74
8	81	72	47	69
9	79	83	62	92
10	75	83	61	84
11	77	68	57	70
12	72	79	60	76
13	56	68	69	75
14	56	66	58	65
15	75	81	72	93
16	74	93	62	80
17	73	89	50	69
18	79	89	55	68
19	61	46	72	49
20	71	59	69	56
21	68	68	67	73
22	63	48	62	53
23	42	49	36	41
24	67	78	51	64
25	79	81	65	71
26	74	76	68	73
27	72	65	65	63
28	55	87	61	62
29	72	89	72	86
30	59	64	59	64
31	57	55	60	56
32	68	90	67	70
33	72	65	67	84
34	65	87	58	66
35	75	61	67	84
36	74	79	65	83

**APÊNDICE E – VALORES DE FRB E IV EXTRAÍDOS E CALCULADOS A PARTIR DOS PRODUTOS MOD13Q1,
MOD09A1, MOD15A2 E MOD17A2 NOS DOIS PERÍODOS CLIMÁTICOS**

parcela	MOD13Q1 - 22/03/2011									MOD13Q1 - 14/09/2011								
	b1	b2	b3	b7	NDVI ₂₅₀	SAVI ₂₅₀	EVI ₂₅₀	NDWI ₂₅₀	QA	b1	b2	B3	b7	NDVI ₂₅₀	SAVI ₂₅₀	EVI ₂₅₀	NDWI ₂₅₀	QA
1	0,031	0,336	0,015	0,043	0,832	0,528	0,540	0,771	0	0,053	0,279	0,029	0,079	0,680	0,407	0,410	0,561	0
2	0,031	0,387	0,009	0,041	0,852	0,582	0,592	0,810	0	0,050	0,279	0,025	0,051	0,696	0,414	0,412	0,693	1
3	0,034	0,294	0,018	0,047	0,793	0,471	0,476	0,726	0	0,047	0,299	0,031	0,093	0,728	0,447	0,466	0,525	1
4	0,018	0,298	0,013	0,043	0,884	0,513	0,532	0,745	0	0,039	0,341	0,021	0,070	0,793	0,514	0,532	0,658	0
5	0,027	0,303	0,011	0,041	0,839	0,500	0,502	0,764	0	0,048	0,330	0,023	0,078	0,748	0,482	0,490	0,616	0
6	0,022	0,464	0,011	0,053	0,918	0,672	0,728	0,795	0	0,045	0,268	0,018	0,070	0,713	0,411	0,397	0,584	0
7	0,027	0,468	0,016	0,064	0,890	0,664	0,731	0,758	1	0,047	0,271	0,024	0,089	0,706	0,412	0,409	0,508	1
8	0,021	0,354	0,012	0,027	0,889	0,571	0,598	0,859	0	0,053	0,292	0,027	0,091	0,694	0,425	0,425	0,526	0
9	0,015	0,325	0,006	0,029	0,911	0,554	0,565	0,838	0	0,043	0,326	0,021	0,068	0,767	0,488	0,497	0,654	0
10	0,014	0,344	0,006	0,031	0,920	0,576	0,595	0,836	0	0,041	0,308	0,020	0,068	0,768	0,473	0,479	0,639	0
11	0,035	0,334	0,016	0,048	0,808	0,515	0,524	0,749	0	0,055	0,307	0,028	0,088	0,697	0,439	0,441	0,553	1
12	0,023	0,309	0,016	0,048	0,863	0,516	0,541	0,729	1	0,051	0,276	0,029	0,076	0,690	0,409	0,413	0,568	1
13	0,009	0,293	0,004	0,035	0,941	0,532	0,540	0,790	0	0,038	0,345	0,020	0,063	0,800	0,521	0,539	0,693	0
14	0,041	0,400	0,007	0,061	0,814	0,572	0,563	0,736	1	0,041	0,331	0,022	0,064	0,781	0,500	0,515	0,677	0
15	0,022	0,339	0,009	0,033	0,878	0,552	0,566	0,821	0	0,053	0,318	0,029	0,115	0,713	0,456	0,466	0,469	0
16	0,018	0,329	0,009	0,033	0,870	0,551	0,569	0,818	0	0,044	0,296	0,023	0,074	0,740	0,450	0,453	0,602	0
17	0,030	0,323	0,023	0,066	0,833	0,517	0,552	0,660	0	0,048	0,313	0,028	0,085	0,734	0,461	0,477	0,572	1
18	0,026	0,352	0,024	0,055	0,865	0,558	0,617	0,732	1	0,063	0,312	0,029	0,105	0,665	0,427	0,424	0,496	0
19	0,037	0,368	0,022	0,062	0,819	0,549	0,582	0,712	1	0,059	0,371	0,079	0,064	0,727	0,504	0,546	0,706	1
20	0,012	0,339	0,009	0,045	0,929	0,576	0,606	0,766	1	0,042	0,289	0,017	0,069	0,745	0,445	0,435	0,616	1
21	0,021	0,323	0,029	0,091	0,877	0,536	0,613	0,559	1	0,049	0,314	0,053	0,092	0,737	0,461	0,486	0,546	2
22	0,035	0,357	0,031	0,054	0,821	0,541	0,578	0,737	2	0,068	0,399	0,045	0,110	0,708	0,513	0,563	0,568	1
23	0,041	0,319	0,021	0,080	0,770	0,484	0,492	0,600	1	0,046	0,375	0,025	0,082	0,781	0,535	0,561	0,641	1
24	0,030	0,439	0,011	0,057	0,871	0,633	0,664	0,772	1	0,075	0,373	0,117	0,048	0,667	0,472	0,793	0,773	1
25	0,017	0,260	0,017	0,054	0,878	0,470	0,493	0,654	1	0,053	0,264	0,116	0,042	0,664	0,387	0,742	0,728	1
26	0,020	0,329	0,014	0,036	0,886	0,546	0,574	0,805	1	0,072	0,284	0,105	0,051	0,596	0,372	0,570	0,698	1
27	0,021	0,316	0,003	0,035	0,874	0,528	0,520	0,799	1	0,056	0,384	0,089	0,071	0,746	0,524	0,778	0,690	1
28	0,025	0,303	0,027	0,084	0,847	0,503	0,554	0,567	1	0,045	0,323	0,035	0,081	0,756	0,480	0,522	0,600	1
29	0,020	0,363	0,009	0,049	0,895	0,582	0,607	0,762	1	0,046	0,356	0,031	0,078	0,771	0,516	0,554	0,639	1
30	0,024	0,233	0,032	0,044	0,813	0,414	0,458	0,682	1	0,066	0,366	0,038	0,118	0,694	0,483	0,506	0,513	1
31	0,034	0,319	0,031	0,048	0,806	0,501	0,552	0,738	1	0,046	0,341	0,033	0,091	0,762	0,499	0,538	0,579	1
32	0,016	0,357	0,024	0,075	0,914	0,586	0,669	0,652	1	0,042	0,309	0,033	0,085	0,762	0,471	0,511	0,570	1
33	0,024	0,366	0,004	0,046	0,877	0,576	0,577	0,777	1	0,082	0,355	0,079	0,107	0,623	0,436	0,541	0,538	1
34	0,027	0,478	0,018	0,063	0,894	0,674	0,750	0,767	1	0,073	0,332	0,072	0,125	0,639	0,429	0,527	0,454	1
35	0,022	0,342	0,014	0,054	0,882	0,557	0,586	0,728	1	0,062	0,378	0,061	0,080	0,720	0,505	0,612	0,652	1
36	0,037	0,340	0,032	0,060	0,804	0,518	0,573	0,702	1	0,100	0,392	0,110	0,128	0,594	0,442	0,490	0,509	2

	MOD 09A1 - 30/03/2011												MOD 09A1 - 14/09/2011												
	b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	IV						b1	b2	b3	b4	b5	b6	b7	IV				
Parcela	RED	NIR	BLUE	GREEN	SWIR1	SWIR2	SWIR3	NDVI ₅₀₀	SAVI ₅₀₀	EVI ₅₀₀	NDWI ₅₀₀	QA	RED	NIR	BLUE	GREEN	SWIR1	SWIR2	SWIR3	NDVI ₅₀₀	SAVI ₅₀₀	EVI ₅₀₀	NDWI ₅₀₀	QA	
1	0,028	0,327	0,012	0,042	0,282	0,140	0,044	0,845	0,525	0,535	0,762	0	0,051	0,281	0,028	0,059	0,287	0,171	0,073	0,692	0,415	0,416	0,588	0	
2	0,035	0,317	0,020	0,045	0,273	0,151	0,065	0,803	0,497	0,513	0,660	0	0,045	0,261	0,025	0,053	0,272	0,144	0,051	0,708	0,403	0,404	0,675	0	
3	0,025	0,324	0,014	0,040	0,292	0,131	0,032	0,860	0,530	0,550	0,823	0	0,041	0,282	0,017	0,046	0,299	0,162	0,058	0,745	0,439	0,428	0,661	0	
4	0,020	0,304	0,009	0,032	0,269	0,133	0,040	0,875	0,517	0,522	0,769	0	0,053	0,290	0,027	0,055	0,329	0,195	0,082	0,691	0,422	0,422	0,561	0	
5	0,020	0,310	0,010	0,029	0,267	0,121	0,037	0,878	0,524	0,535	0,788	0	0,074	0,277	0,040	0,074	0,310	0,215	0,102	0,578	0,358	0,358	0,461	0	
6	0,022	0,323	0,011	0,030	0,294	0,121	0,031	0,872	0,534	0,548	0,824	0	0,036	0,280	0,018	0,046	0,296	0,162	0,061	0,774	0,450	0,449	0,644	0	
7	0,024	0,323	0,011	0,034	0,305	0,149	0,045	0,860	0,528	0,538	0,757	0	0,044	0,248	0,021	0,049	0,270	0,174	0,074	0,701	0,387	0,378	0,539	0	
8	0,018	0,321	0,010	0,030	0,275	0,121	0,028	0,895	0,543	0,560	0,841	0	0,047	0,284	0,025	0,052	0,303	0,193	0,081	0,714	0,427	0,429	0,557	0	
9	0,017	0,389	0,007	0,028	0,306	0,114	0,022	0,918	0,617	0,647	0,892	0	0,041	0,316	0,020	0,046	0,309	0,170	0,061	0,771	0,482	0,488	0,678	0	
10	0,016	0,334	0,006	0,028	0,290	0,120	0,029	0,908	0,560	0,573	0,842	0	0,043	0,294	0,020	0,051	0,330	0,182	0,068	0,746	0,451	0,450	0,625	0	
11	0,023	0,352	0,010	0,034	0,303	0,145	0,043	0,878	0,564	0,581	0,782	0	0,047	0,314	0,025	0,058	0,349	0,195	0,077	0,741	0,466	0,476	0,607	0	
12	0,022	0,323	0,010	0,031	0,274	0,135	0,044	0,872	0,534	0,544	0,761	0	0,051	0,287	0,028	0,058	0,301	0,189	0,077	0,700	0,423	0,427	0,577	0	
13	0,021	0,283	0,011	0,030	0,274	0,128	0,033	0,861	0,488	0,492	0,790	0	0,038	0,337	0,020	0,050	0,354	0,176	0,063	0,799	0,514	0,530	0,687	0	
14	0,017	0,249	0,006	0,026	0,247	0,107	0,035	0,873	0,454	0,445	0,751	0	0,050	0,353	0,025	0,057	0,332	0,208	0,091	0,754	0,505	0,519	0,589	0	
15	0,021	0,334	0,009	0,033	0,290	0,130	0,033	0,882	0,549	0,563	0,818	0	0,044	0,296	0,023	0,050	0,324	0,184	0,076	0,740	0,450	0,453	0,594	0	
16	0,017	0,310	0,008	0,029	0,279	0,102	0,023	0,894	0,531	0,540	0,861	0	0,038	0,355	0,019	0,051	0,361	0,178	0,059	0,809	0,534	0,552	0,714	0	
17	0,021	0,329	0,010	0,033	0,304	0,135	0,031	0,882	0,545	0,560	0,830	0	0,051	0,272	0,026	0,053	0,302	0,205	0,092	0,684	0,403	0,398	0,493	0	
18	0,035	0,315	0,021	0,045	0,304	0,158	0,056	0,801	0,494	0,512	0,696	0	0,061	0,303	0,032	0,063	0,318	0,214	0,097	0,667	0,421	0,426	0,515	0	
19	0,038	0,382	0,022	0,047	0,364	0,176	0,062	0,820	0,561	0,596	0,722	0	0,038	0,326	0,018	0,043	0,331	0,174	0,067	0,793	0,501	0,509	0,659	0	
20	0,032	0,350	0,021	0,046	0,308	0,162	0,060	0,834	0,542	0,575	0,707	0	0,029	0,311	0,015	0,036	0,306	0,150	0,049	0,830	0,504	0,515	0,730	0	
21	0,040	0,299	0,022	0,048	0,327	0,176	0,074	0,762	0,461	0,468	0,605	0	0,069	0,240	0,026	0,057	0,296	0,254	0,133	0,555	0,318	0,294	0,289	0	
22	0,040	0,316	0,031	0,049	0,288	0,150	0,054	0,776	0,484	0,521	0,708	0	0,042	0,292	0,041	0,054	0,299	0,150	0,044	0,747	0,449	0,505	0,740	0	
23	0,047	0,348	0,021	0,059	0,325	0,166	0,080	0,763	0,505	0,510	0,626	0	0,073	0,238	0,072	0,080	0,253	0,140	0,069	0,533	0,307	0,367	0,551	0	
24	0,040	0,351	0,019	0,044	0,350	0,175	0,073	0,797	0,524	0,539	0,656	0	0,077	0,361	0,070	0,088	0,366	0,211	0,089	0,649	0,454	0,546	0,606	0	
25	0,024	0,336	0,008	0,031	0,302	0,155	0,050	0,864	0,543	0,548	0,740	0	0,082	0,354	0,087	0,099	0,381	0,207	0,083	0,625	0,437	0,573	0,620	0	
26	0,019	0,326	0,008	0,029	0,290	0,137	0,036	0,889	0,544	0,554	0,801	0	0,087	0,218	0,083	0,089	0,217	0,135	0,083	0,429	0,243	0,293	0,450	0	
27	0,029	0,366	0,012	0,037	0,331	0,157	0,057	0,852	0,565	0,580	0,729	0	0,074	0,227	0,078	0,084	0,244	0,136	0,076	0,506	0,285	0,349	0,497	0	
28	0,036	0,321	0,019	0,048	0,318	0,176	0,059	0,800	0,499	0,512	0,687	0	0,082	0,324	0,079	0,092	0,372	0,252	0,112	0,596	0,401	0,493	0,488	0	
29	0,027	0,323	0,009	0,035	0,321	0,161	0,049	0,846	0,522	0,523	0,736	0	0,096	0,333	0,093	0,106	0,369	0,240	0,107	0,553	0,383	0,489	0,513	0	
30	0,046	0,283	0,032	0,054	0,295	0,160	0,062	0,718	0,428	0,448	0,641	0	0,087	0,268	0,078	0,091	0,338	0,222	0,113	0,508	0,316	0,373	0,405	0	
31	0,023	0,314	0,011	0,035	0,317	0,173	0,060	0,864	0,522	0,530	0,682	0	0,083	0,280	0,081	0,092	0,354	0,218	0,106	0,542	0,342	0,419	0,451	0	
32	0,016	0,391	0,005	0,028	0,356	0,155	0,041	0,920	0,620	0,646	0,810	0	0,047	0,355	0,021	0,050	0,390	0,234	0,088	0,767	0,513	0,522	0,601	0	
33	0,038	0,371	0,016	0,047	0,344	0,197	0,076	0,814	0,550	0,563	0,662	0	0,093	0,293	0,077	0,100	0,307	0,197	0,095	0,520	0,340	0,395	0,512	0	
34	0,037	0,347	0,014	0,053	0,334	0,185	0,072	0,806	0,525	0,529	0,658	0	0,100	0,304	0,079	0,103	0,330	0,228	0,098	0,506	0,339	0,390	0,511	0	
35	0,059	0,371	0,007	0,064	0,369	0,214	0,124	0,724	0,502	0,465	0,498	0	0,051	0,304	0,039	0,062	0,310	0,190	0,078	0,714	0,444	0,482	0,592	0	
36	0,031	0,278	0,018	0,037	0,251	0,125	0,045	0,800	0,458	0,465	0,720	0	0,096	0,235	0,093	0,098	0,252	0,151	0,080	0,420	0,251	0,311	0,491	0	

parcela	MOD15A2 30/03/2011			MOD17A2 30/03/2011		MOD15A2 14/09/2011			MOD17A2 14/09/2011	
	IAF	fAPAR	QA	GPP	QA	IAF	fAPAR	QA	GPP	QA
1	5,9	0,88	0	0,06	0	6,6	0,90	0	0,09	0
2	4,5	0,84	0	0,06	0	5,3	0,87	1	0,08	1
3	6,2	0,89	0	0,06	0	6,2	0,89	0	0,08	0
4	5,6	0,88	0	0,06	0	6,2	0,89	0	0,08	0
5	3,4	0,79	0	0,04	0	2,5	0,68	0	0,04	0
6	6,2	0,89	0	0,06	0	5,9	0,88	0	0,08	0
7	5,9	0,91	1	0,06	1	6,3	0,89	0	0,08	0
8	6,2	0,89	0	0,06	0	5,2	0,87	0	0,08	0
9	6,5	0,90	0	0,06	0	6,6	0,90	0	0,08	0
10	6,2	0,89	0	0,06	0	6,2	0,89	0	0,08	0
11	5,1	0,89	0	0,05	0	3,3	0,77	0	0,05	0
12	1,7	0,53	0	0,03	0	1,2	0,42	0	0,03	0
13	6,6	0,90	0	0,06	0	6,0	0,89	0	0,08	0
14	6,1	0,92	1	0,07	1	6,0	0,89	0	0,08	0
15	5,9	0,91	1	0,06	1	6,6	0,90	0	0,08	0
16	6,2	0,93	1	0,06	1	6,0	0,89	0	0,08	0
17	5,9	0,88	0	0,06	0	6,6	0,90	0	0,08	0
18	6,2	0,89	0	0,06	0	6,1	0,89	0	0,08	0
19	6,2	0,89	0	0,06	0	6,3	0,90	0	0,08	0
20	2,2	0,66	0	0,03	0	6,0	0,90	0	0,08	0
21	6,9	0,91	0	0,06	0	1,1	0,42	0	0,04	0
22	5,2	0,87	0	0,06	0	1,6	0,56	1	0,05	1
23	6,2	0,89	0	0,06	0	1,4	0,51	1	0,04	1
24	6,6	0,90	0	0,06	0	1,8	0,58	1	0,05	1
25	5,9	0,88	0	0,06	0	0,5	0,21	0	0,02	0
26	4,1	0,81	0	0,05	0	1,2	0,47	1	0,04	1
27	6,0	0,91	1	0,06	1	0,5	0,21	0	0,02	0
28	6,4	0,90	0	0,06	0	1,6	0,56	1	0,05	1
29	4,8	0,85	0	0,06	0	0,8	0,33	1	0,03	1
30	1,6	0,56	1	0,04	1	1,0	0,40	1	0,03	1
31	6,2	0,89	0	0,06	0	0,9	0,38	1	0,03	1
32	4,4	0,83	0	0,05	0	2,5	0,68	1	0,06	1
33	5,9	0,89	1	0,06	1	0,9	0,39	1	0,03	1
34	6,6	0,90	0	0,06	0	0,5	0,20	1	0,02	1
35	4,1	0,81	1	0,06	1	2,7	0,70	1	0,06	1
36	2,0	0,54	0	0,03	0	1,2	0,44	0	0,04	0

**APÊNDICE F – VALORES DE FRB E IV EXTRAÍDOS E CALCULADOS A PARTIR DOS PRODUTOS S10 DO
VGT/SPOT**

Parcela	S10 - 01/04/2011									S10 - 21/09/2011								
	b0	b2	b3	MIR	NDVI ₁₀₀₀	SAVI ₁₀₀₀	EVI ₁₀₀₀	NDWI ₁₀₀₀	SM	b0	b2	b3	MIR	NDVI ₁₀₀₀	SAVI ₁₀₀₀	EVI ₁₀₀₀	NDWI ₁₀₀₀	SM
1	0,009	0,029	0,297	0,135	0,824	0,487	0,477	0,374	0	0,025	0,053	0,225	0,174	0,620	0,332	0,317	0,129	0
2	0,002	0,027	0,293	0,127	0,832	0,487	0,463	0,396	0	0,020	0,051	0,246	0,159	0,656	0,367	0,348	0,215	0
3	0,026	0,033	0,294	0,125	0,800	0,475	0,504	0,403	0	0,021	0,040	0,228	0,146	0,704	0,368	0,359	0,220	0
4	0,023	0,027	0,317	0,121	0,844	0,515	0,553	0,447	0	0,013	0,033	0,238	0,154	0,760	0,400	0,384	0,214	0
5	0,024	0,029	0,307	0,130	0,828	0,498	0,532	0,404	0	0,016	0,041	0,219	0,171	0,688	0,352	0,332	0,123	0
6	0,003	0,021	0,288	0,126	0,864	0,495	0,478	0,393	0	0,015	0,034	0,218	0,153	0,728	0,366	0,349	0,174	0
7	0,009	0,032	0,320	0,143	0,820	0,508	0,498	0,383	0	0,018	0,039	0,231	0,162	0,712	0,375	0,361	0,175	0
8	0,025	0,040	0,327	0,148	0,784	0,497	0,520	0,377	0	0,019	0,037	0,249	0,149	0,744	0,406	0,400	0,251	0
9	0,009	0,028	0,352	0,134	0,852	0,552	0,556	0,447	0	0,013	0,034	0,240	0,150	0,752	0,399	0,382	0,230	0
10	0,004	0,026	0,330	0,146	0,852	0,532	0,521	0,387	0	0,014	0,035	0,240	0,157	0,746	0,397	0,381	0,211	0
11	0,041	0,070	0,320	0,225	0,640	0,421	0,436	0,175	0	0,035	0,067	0,308	0,229	0,644	0,413	0,416	0,147	0
12	0,040	0,067	0,290	0,191	0,625	0,391	0,401	0,207	0	0,046	0,085	0,285	0,242	0,544	0,345	0,346	0,081	0
13	0,027	0,035	0,367	0,163	0,824	0,552	0,604	0,385	0	0,015	0,031	0,226	0,142	0,760	0,386	0,375	0,228	0
14	0,026	0,036	0,321	0,145	0,802	0,500	0,533	0,379	0	0,017	0,034	0,212	0,132	0,726	0,358	0,346	0,233	0
15	0,025	0,031	0,334	0,129	0,832	0,525	0,568	0,444	0	0,016	0,038	0,243	0,170	0,728	0,394	0,378	0,178	0
16	0,015	0,031	0,354	0,143	0,840	0,549	0,566	0,426	0	0,012	0,030	0,244	0,140	0,784	0,415	0,401	0,272	0
17	0,035	0,057	0,305	0,177	0,688	0,432	0,449	0,265	0	0,020	0,047	0,230	0,190	0,660	0,353	0,334	0,094	0
18	0,047	0,078	0,313	0,220	0,604	0,397	0,413	0,174	0	0,041	0,060	0,293	0,225	0,660	0,409	0,432	0,130	0
19	0,013	0,045	0,386	0,178	0,792	0,549	0,546	0,370	0	0,032	0,081	0,333	0,243	0,608	0,413	0,398	0,156	0
20	0,026	0,041	0,367	0,159	0,800	0,539	0,575	0,395	0	0,039	0,057	0,387	0,183	0,752	0,525	0,576	0,358	0
21	0,032	0,066	0,305	0,183	0,644	0,412	0,408	0,250	0	0,033	0,074	0,303	0,227	0,608	0,392	0,383	0,143	0
22	0,029	0,052	0,400	0,193	0,768	0,548	0,582	0,349	0	0,098	0,133	0,357	0,254	0,460	0,340	0,395	0,169	0
23	0,011	0,030	0,419	0,167	0,868	0,616	0,643	0,430	0	0,067	0,102	0,313	0,200	0,508	0,345	0,370	0,220	0
24	0,051	0,077	0,426	0,238	0,696	0,523	0,582	0,284	0	0,087	0,098	0,367	0,221	0,580	0,418	0,516	0,249	0
25	0,014	0,047	0,415	0,206	0,796	0,573	0,576	0,337	0	0,044	0,081	0,354	0,217	0,628	0,439	0,453	0,241	0
26	0,012	0,045	0,397	0,191	0,796	0,560	0,556	0,350	0	0,052	0,082	0,291	0,209	0,540	0,359	0,374	0,165	0
27	0,026	0,049	0,430	0,185	0,796	0,585	0,623	0,398	0	0,082	0,094	0,328	0,200	0,552	0,380	0,456	0,243	0
28	0,026	0,048	0,341	0,188	0,752	0,495	0,511	0,291	0	0,123	0,121	0,291	0,199	0,414	0,280	0,389	0,188	0
29	0,024	0,039	0,368	0,204	0,808	0,544	0,576	0,286	0	0,104	0,123	0,312	0,228	0,436	0,304	0,374	0,156	0
30	0,054	0,085	0,391	0,247	0,644	0,470	0,511	0,226	0	0,068	0,102	0,291	0,247	0,484	0,318	0,340	0,082	0
31	0,014	0,031	0,381	0,224	0,852	0,577	0,599	0,260	0	0,103	0,125	0,305	0,228	0,420	0,290	0,351	0,146	0
32	0,029	0,042	0,384	0,194	0,804	0,553	0,600	0,329	0	0,044	0,056	0,294	0,230	0,680	0,420	0,456	0,123	0
33	0,043	0,074	0,418	0,235	0,698	0,520	0,558	0,279	0	0,122	0,134	0,381	0,212	0,476	0,364	0,483	0,286	0
34	0,011	0,034	0,383	0,184	0,840	0,572	0,582	0,351	0	0,058	0,110	0,329	0,210	0,500	0,351	0,353	0,221	0
35	0,006	0,028	0,412	0,165	0,872	0,612	0,625	0,428	0	0,131	0,145	0,388	0,257	0,456	0,352	0,475	0,202	0
36	0,007	0,030	0,395	0,174	0,858	0,591	0,598	0,388	0	0,103	0,127	0,351	0,243	0,474	0,343	0,418	0,182	0

