

SECRETARIA DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

INPE-5443-TDI/489

PERSPECTIVAS DE ESTIMATIVA DOS BALANÇOS ANUAIS HÍDRICO E DE
CARBONO EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS À PARTIR DE UM MODELO
BIOGEOQUÍMICO FLORESTAL ASSOCIADO A TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO ORBITAL

Marcelo de Ávila Chaves

Dissertação de Mestrado em Sensoriamento Remoto, orientada pelo Dr. João
Viane Soares e pelo Dr. Yosio Edemir Shimabukuro, aprovada em julho de
1992.

INPE
São José dos Campos
Julho de 1992

528.711.7

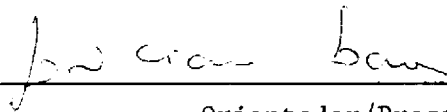
CHAVES, M.A.

Perspectivas de estimativa dos balanços anuais hídricos e de carbono em ecossistemas florestais à partir de um modelo biogeoquímico florestal associado a técnicas de sensoriamento remoto orbital. / M.A.Chaves. -- São José dos Campos: INPE, 1992. 165p. -- (INPE-5443-TDI/489)


1. Ecossistemas florestais. 2. Processamento digital de imagem. 3. Modelos.
I. Título

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

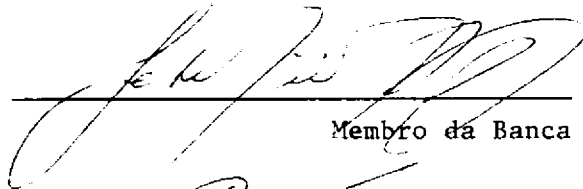
Dr. João Vianei Soares


Orientador/Presidente

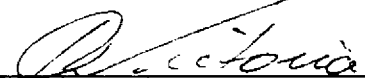
Dr. Carlos Afonso Nobre


Membro da Banca

Dr. Getúlio Teixeira Batista


Membro da Banca

Dr. Reynaldo Luiz Victória


Membro da Banca
- Convidado -

Candidato: Marcelo de Ávila Chaves

São José dos Campos 09 de julho de 1992

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho:

aos meus pais, Alberto e Sônia,
por terem orientado a minha formação

à Marina,
por seu amor,
pelo incentivo,
pela paciência de tolerar-me nestes anos

aos amigos Rogério, Renato e Diana,
pela amizade,
pelo incentivo

aos amigos do INPE
pela lealdade,
pelos bons momentos compartilhados

aos amigos de Belo Horizonte,
pelas horas de convívio furtadas

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais-CETEC, na pessoa do chefe do Setor de Sensoriamento Remoto e Informática Aplicada, MSc Getúlio Soriano de Souza Nunes, por viabilizar minha contratação, pela confiança, pelo incentivo e pela liberação do tempo e dos equipamentos necessários para dedicar-me à conclusão deste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, na pessoa do Dr. Célio Eustáquio dos Anjos, por viabilizar parte dos recursos financeiros necessários para o desenvolvimento do projeto de tese.

Ao CNPQ pela concessão da bolsa de mestrado.

As agências estaduais de meteorologia de Minas Gerais e Rio Grande do Sul pertencentes ao Instituto Nacional de Meteorologia-INEMET, ao Departamento de Água e Energia Elétrica do Estado de São Paulo-DAEE, ao Instituto Florestal do Estado de São Paulo-IEF, ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis-IBAMA e a empresa Florestas Rio Doce S.A. pela liberação de dados meteorológicos e de campo necessários para o teste do modelo.

Aos doutores João Viane Soares e Yosio Edemir Shimabukuro pela confiança, pela orientação, pela revisão e pelas sugestões apresentadas além da amizade e do apoio durante a realização desta dissertação.

Ao Dr. José Carlos Neves Epiphanyo, ao Dr. Antonio Carlos Formaggio e ao MSc Flávio Jorge Ponzoni pela amizade e pelo incentivo que sempre demonstraram.

Ao MSc Renato Moreira Hadad e ao geógrafo Lúcio do Carmo Moura pela contribuição ao desenvolvimento dos programas de computador e pelos conhecimentos transmitidos na operacionalização do Sistema de Tratamento de Imagens do CETEC.

Aos colegas e funcionários do INPE e do CETEC pela cordialidade dispensada no decorrer do curso de mestrado.

Aos membros da banca examinadora pelo aceite em examinar o trabalho.

RESUMO

Este trabalho tem por objetivo testar e avaliar o potencial de utilização de um modelo biogeoquímico regional para representar os principais processos do ciclo hidrológico e do carbono de ecossistemas florestais de coníferas, existentes em três estados brasileiros, submetidos a condições ambientais contrastantes. Este modelo, denominado Forecos, tem como principal variável de entrada o índice de área foliar (IAF) que é um dos parâmetros mais importantes na quantificação de trocas de energia e massa de ecossistemas florestais. O IAF pode ser estimado por sensores remotos orbitais, pois é a variável estrutural da vegetação mais correlacionada com os índices de vegetação que são obtidos à partir de dados espectrais de imagens de satélites. Assim sendo, realizou-se o teste de sensibilidade das variáveis do modelo e a simulação dos valores de IAF. Realizou-se também a classificação digital de imagens índice de vegetação com o objetivo de obter padrões de mapeamento desses índices que devem refletir variações nos valores de IAF embora valores absolutos não possam ser estimados nesta etapa do trabalho. Os resultados obtidos demonstram que o modelo, quando rodado de uma maneira geral, foi capaz de retratar diferenças relativas entre os processos básicos do ciclo hidrológico e do carbono. O modelo conseguiu também descrever quantitativamente as interações entre os fatores ambientais de cada área teste com os processos físicos e biológicos que ocorreram nos ecossistemas florestais selecionados. Entretanto, a modelagem de alguns processos necessita ser revista ou ajustada e a validação final do modelo requer medidas específicas de alguns parâmetros e condições iniciais. Os resultados obtidos nas classificações de imagens digitais sugerem uma homogeneidade nos valores de IAF para as áreas teste o que, de certa forma, valida a utilização de um único valor de IAF na simulação realizada.

ON THE COMPUTATION OF CARBON AND WATER CYCLES IN FOREST
ECOSYSTEMS USING A BIOGEOCHEMICAL MODEL AND REMOTELY
SENSED DATA.

ABSTRACT

This work is intended to test and to evaluate how well a regional biogeochemical model is able to represent the major processes of the hydrologic and carbon cycles of forest ecosystems of coniferous, growing up in three different climatic areas in Brazil. The model, named "Forecos" uses Leaf Area Index, LAI, as the main input variable. LAI is generally accepted as being the most important variable characterizing the exchange of energy and mass in forest ecosystems. There is substantial work done showing that LAI can be estimated from remotely sensed data, on the basis of the correlation that exists between this vegetation structure parameter and vegetation index, obtained by manipulation of data in different spectral bands of optical sensors. Simulations of LAI of the real world and sensitivity analysis on some critical parameters were used to test the suitability of the model to represent the processes modeled. By the means of digital image classification, patterns of vegetation indexes were identified that should correspond to variations on LAI values, although absolute numbers could not be obtained at this step. The results have demonstrated that the model was able to show the relative differences for both hydrologic and carbon cycles for the three test sites studied. Besides that, the model was also capable of describing quantitatively the interactions between climatic parameters and biophysical processes in the ecosystems selected. Nevertheless, the mathematical formulation of some processes has to be revised or adjusted through fitting techniques. Finally a validation should be achieved with measurements of state variables and some independent measurements of net primary production and hydrologic variables. The results obtained from digital classification suggest that LAI values are homogeneous in all test sites. Then, the use of a unique regional value within the simulations realized is felt to be valid.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	xv
LISTA DE FOTOS.....	xix
LISTA DE TABELAS.....	xxi
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xxiii
<u>CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO.....</u>	<u>1</u>
1.1 - Situação atual	1
1.2 - Objetivos da pesquisa	2
<u>CAPÍTULO 2 - REVISÃO DE LITERATURA.....</u>	<u>5</u>
2.1 - O processo e os problemas de modelagem em ecossistemas florestais para escala regional e global e a contribuição do sensoriamento remoto.....	5
2.2 - Conceito de índice de área foliar (IAF) e métodos de estimativa de área foliar de coníferas a nível de estande florestal.....	9
2.3 - Estimativa do valor do índice de área foliar (IAF) em escala regional através de técnicas de sensoriamento remoto	16
<u>CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....</u>	<u>25</u>
3.1 - Descrição das áreas de estudo	25
3.2 - Aspectos climáticos das regiões	27
3.3 - Dados utilizados	31
3.4 - Metodologia	32
3.4.1 - Análise dimensional do modelo	32
3.4.2 - Testes de sensibilidade	32
3.4.3 - Simulação dos valores de índice de área foliar	35
3.4.4 - Tratamento digital de imagens.....	35

<u>CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES</u>	37
4.1 - Testes de sensibilidade	37
4.1.1 - Ciclo hidrológico.....	37
4.1.2 - Ciclo do carbono.....	39
4.2 - Simulação dos valores de índice de área foliar.....	42
4.2.1 - Ciclo hidrológico anual	42
4.2.2 - Ciclo anual do carbono	53
4.2.3 - Ciclo hidrológico mensal	59
4.2.4 - Ciclo mensal do carbono	64
4.3 - Tratamento digital de imagens.....	66
<u>CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES</u>	79
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
APÊNDICE A - DESCRIÇÃO DO MODELO BIOGEOQUÍMICO FLORESTAL (FORECOS)	85
APÊNDICE B - VARIÁVEIS MOTRIZES METEOROLÓGICAS	105
APÊNDICE C - SIMULAÇÃO DOS VALORES DE IAF PARA A REGIÃO DE GRÃO MOGOL COM DADOS DE TEMPERATURA CORRIGIDOS PARA A ALTITUDE	135

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
2.3.1 - Relações entre valores do índice de vegetação razão simples do sensor ATM e valores do índice de área foliar (IAF) de estandes de coníferas	18
2.3.2 - Relações entre valores de radiância na faixa espectral do vermelho do sensor ATM e valores de IAF de estandes de coníferas	19
2.3.3 - Relações entre valores de radiância na faixa espectral do infravermelho próximo do sensor ATM e valores de IAF de estandes de coníferas	20
2.3.4 - Relações entre valores do índice de vegetação razão simples do sensor ATM e valores de IAF de estandes de coníferas	21
2.3.5 - Relações entre valores do índice de vegetação diferença normalizada do sensor TM-LANDSAT e valores de IAF de estandes de coníferas	22
2.3.6 - Relações entre valores do índice de vegetação diferença normalizada do sensor AVHRR-NOAA e valores de IAF de estandes de coníferas	23
3.1 - Localização das áreas de estudo	26
3.2.1 - Temperatura média mensal para as três regiões	29
3.2.2 - Temperatura média das máximas mensal para as três regiões	29
3.2.3 - Temperatura média mínima mensal para as três regiões	29
3.2.4 - Precipitação mensal para as três regiões	30
3.2.5 - Umidade relativa média mensal para as três regiões	30
3.2.6 - Horas de brilho solar mensal nas três regiões	30
3.2.7 - Comprimento do dia nas três regiões	31
4.2.1.1 - Distribuição quantitativa do ciclo hidrológico para as três regiões com IAF=3, 6, 9 e 12	43
4.2.1.2 - Evaporação anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	51
4.2.1.3 - Transpiração anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	52
4.2.1.4 - Escoamento anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	53
4.2.2.1 - Fotossíntese líquida anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	53
4.2.2.2 - Produtividade primária líquida para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	54

4.2.2.3 -	Respiração de manutenção do dossel para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14.....	55
4.2.2.4 -	Respiração de crescimento anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	56
4.2.2.5 -	Eficiência do uso da água (fotossíntese líquida/transpiração) para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	57
4.2.2.6 -	Eficiência do uso da água (produtividade primária líquida/transpiração) para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	57
4.2.2.7 -	Taxa de decomposição da lignina para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14	58
4.2.3.1 -	Evaporação mensal para as três regiões com o valor do IAF=6.....	59
4.2.3.2 -	Radiação líquida média mensal disponível para as três regiões com o valor do IAF=6	60
4.2.3.3 -	Transpiração mensal para as três regiões com o valor do IAF=6.....	61
4.2.3.4 -	Resistência mensal a transpiração para as três regiões com o valor do IAF=6	61
4.2.3.5 -	Disponibilidade de água no solo para as três regiões com o valor do IAF=6.....	62
4.2.3.6 -	Evapotranspiração mensal para as três regiões com o valor do IAF=6.....	62
4.2.3.7 -	Escoamento mensal para as três regiões com o valor do IAF=6.....	63
4.2.3.8 -	Recarga de água mensal no solo para as três regiões com o valor do IAF=6	63
4.2.4.1 -	Distribuição mensal da fotossíntese bruta e da respiração de manutenção total do dossel para três as regiões com o valor do IAF=6.....	64
4.2.4.2 -	Carbono mensal fixado para três as regiões com o valor do IAF=6	65
4.3.1 -	Histograma das áreas delimitadas no canal 3 na região de Grão Mogol	67
4.3.2 -	Histograma das áreas delimitadas no canal 4 na região de Grão Mogol	67
4.3.3 -	Histograma das áreas delimitadas na imagem razão simples na região de Grão Mogol.....	68
4.3.4 -	Histograma das áreas delimitadas na imagem diferença normalizada na região de Grão Mogol.....	68
4.3.5 -	Histograma das áreas delimitadas no canal 3 na região de Mogi Guaçu.....	73

4.3.6 -	Histograma das áreas delimitadas no canal 4 na região de Mogi Guaçu.....	73
4.3.7 -	Histograma das áreas delimitadas na imagem razão simples na região de Mogi Guaçu	74
4.3.8 -	Histograma das áreas delimitadas na imagem diferença normalizada na região de Mogi Guaçu	74
A.1 -	Diagrama de fluxo compartimentalizado do modelo Biogeoquímico Florestal (Forecos).....	88
C.1 -	Evaporação anual para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	136
C.2 -	Transpiração anual para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	137
C.3 -	Escoamento anual para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	138
C.4 -	Fotossíntese líquida para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	139
C.5 -	Produtividade primária líquida para a região de Grão Mogol com o valor do IAF de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura	139
C.6 -	Respiração de manutenção do dossel para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	140
C.7 -	Respiração de crescimento do dossel para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	140
C.8 -	Eficiência do uso da água (fotossíntese líquida/transpiração) para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura	141
C.9 -	Eficiência do uso da água (produtividade primária líquida/transpiração) para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura	142
C.10 -	Taxa de decomposição da lignina para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura.....	142

LISTA DE FOTOS

	<u>Pág.</u>
Foto 1 - Áreas de coníferas da região de Grão Mogol delimitadas na imagem reflectância do canal 3 do sensor TM/Landsat 5.....	66
Foto 2 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (canal 3).....	69
Foto 3 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (canal 4).....	69
Foto 4 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (razão simples)	70
Foto 5 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (diferença normalizada)	70
Foto 6 - Áreas de coníferas da região de Mogi Guaçu delimitadas na imagem reflectância do canal 3 do sensor TM/Landsat 5.....	72
Foto 7 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (canal 3).....	75
Foto 8 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (canal 4).....	75
Foto 9 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (razão simples)	76
Foto 10 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (diferença normalizada)	76

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
3.2.1 - Variáveis climáticas mensais das áreas de estudo (1989)	28
4.1.1 - Resultado dos testes de sensibilidade com +/- 10% de variação nas condições iniciais e nos parâmetros (ciclo hidrológico)	38
4.1.2 - Resultado dos testes de sensibilidade com +/-10% de variação nas condições iniciais e nos parâmetros (ciclo hidrológico)	40
4.2.1.1 Taxas anuais dos processos, calculadas pelo modelo Forecos, para as três áreas de estudo, e para Jacksonville-USA calculadas pelo modelo Forest-BCG com diferentes valores de IAF H ₂ O(cm), C(T/ha)	44
A.1 - Variáveis de estado (Xi) do modelo Forecos	90
A.2 - Variáveis motrizes (Mi) do modelo Forecos	92
A.3 - Variáveis intermediárias (Gi) do modelo Forecos	93
A.4 - Parâmetros de entrada (Bi) do modelo Forecos	94
B.1 - Variáveis motrizes meteorológicas primárias (Passo Fundo)	108
B.2 - Variáveis motrizes meteorológicas primárias (Mogi Guaçu)	117
B.3 - Variáveis motrizes meteorológicas primárias (Grão Mogol)	126

LISTA DE SÍMBOLOS

ΔCO_2	- Gradiente de difusão de CO_2 da folha para o ar (I18), kg/m^3
A	- Albedo da superfície (P8), adimensional
ABSHD	- Déficit de umidade absoluta (M13), $\mu\text{g/m}^3$
δ	- Constante psicrométrica,
L	- Calor latente de vaporização da água, ($L=2,410^6$ J/Kg)
Carb	- Carbono fixado durante o ano (T/ha.ano)
CC	- Condutância de CO_2 no dossel (I15), m/s
CCh	- Condutância de água no dossel com redução de umidade (I7), m/s
CCmax	- Condutância máxima de água do dossel (P11), m/s
CCO_2	- Concentração de CO_2 na atmosfera, 325 ppm
CCw	- Condutância de água do dossel (I6), m/s
CDIA	- Comprimento do dia (M19), h/dia
CE	- Calor específico do ar (J/kg.°C)
CF	- Teor de carbono existente nas folhas (E8), Kg/ha
Cf	- Fixação de carbono para as folhas (I23), T/ha.ano
CI	- Coeficiente de interceptação (P4), mm/IAF.dia
CM	- Condutância CO_2 no mesófilo do dossel (I16), m/s
CMmax	- Condutância máxima do mesófilo (P16), m/s
CMmin	- Condutância mínima do mesófilo (I11), m/s
CMn	- Escalar de nitrogênio para condutância de CO_2 no mesófilo foliar (I12), (0...1)
CMq	- Escalar de radiação para condutância de CO_2 no mesófilo foliar (I13), (0...1)
CMt	- Escalar de temperatura para condutância de CO_2 no mesófilo foliar (I14), (0...1)
CR	- Teor de carbono nas raízes (E10), Kg/ha
Cr	- Fixação de carbono para raízes (I26), Kg/ano
CRf	- Coeficiente de respiração das folhas (P19), $\text{Kg}/^\circ\text{C.dia.Kg}$
CRr	- Coeficiente de respiração das raízes (P21), $\text{Kg}/^\circ\text{C.dia.Kg}$
CRT	- Coeficiente de respiração do tronco/galhos (P20), $\text{Kg}/^\circ\text{C.dia.Kg}$
CT	- Teor de carbono no tronco (E9), Kg/ha
Ct	- Fixação de carbono para tronco/galhos (I25), T/ha.ano
ρ	- Densidade do ar (kg/m^3)
DCC	- Declividade da curva do gráfico condutância de água no dossel (CCw) x potencial diário máximo de água LWP na folha (I8), m/s.-MPa
DCCw	- Declividade do gráfico condutância de H_2O no dossel (CC) x déficit de umidade absoluta (ABSHD) (P13), $\text{m/s}.\mu\text{g.m}^3$
DECOMP	- Porcentagem de perda de peso anual da serrapilheira fresca (%/ano)
DECPSV	- Declividade da curva de pressão de saturação de vapor X temperatura média do ar (M15), $\text{mbar}/^\circ\text{C}$
(e_s-e)	- Déficit de pressão de vapor o ar (M12), mbar
S	- Radiação solar global de ondas curtas disponível para o dossel (M23), $\text{MJ/m}^2.\text{dia}$
DUA	- Déficit de umidade absoluta (M13), $\mu.\text{g/m}^3$
E _{max}	- Potencial máximo de evaporação da precipitação (I2), m/dia
emmHg	- Pressão de vapor da água, mmHg
ESC	- Escoamento de água (I4), cm/dia

EVPT	- Evapotranspiração anual (cm/ano)
EXT	- Coeficiente de extinção (P2), adimensional
FCf	- Fração fixação de carbono foliar (P30), fração
fconv	- $1,67 \cdot 10^{-6}$ (fator de conversão de ppm para Kg/m^3)
FCr	- Fração fixação de carbono raízes (P32),
FCT	- Fração fixação de carbono tronco/raízes (P31), fração
HB	- Horas de brilho (M7), h/dia
IAF	- Índice de área foliar (M24), m^2/m^2
Inter	- Interceptação da precipitação (I1), m/dia
K	- Constante de Stefan-Boltzmann ($4,9 \cdot 10^{-6} \text{ KJ/m}^2 \cdot \text{dia} \cdot \text{K}^4$)
LEAFN	- Fração concentração de nitrogênio foliar (P26), fração
LIG	- Concentração inicial de lignina na serrapilheira (% peso seco)
LWP	- Potencial diário máximo de água na folha (I5), -MPa
LWPmin	- Potencial mínimo de água na folha que induz o fechamento estomatal (P12), -MPa
PIS	- Quantidade de precipitação que infiltra no solo (I3), m/dia
Pr	- Precipitação (M5), mm/dia
PSN	- Fotossíntese bruta diária do dossel (I17), $\text{kg/m}^2 \cdot \text{dia}$
PSV(T24)	- Pressão de saturação de vapor a T24 (M14), mbar
e_s	- Pressão de saturação de vapor (M14), mbar
Q0,5	- Nível de radiação onde o escalar de radiação de condutância do mesófilo (CMq) é igual a 0,5 do máximo (P15), $\text{KJ/m}^2 \cdot \text{dia}$
Qo	- Ponto de compensação luz fotossintética (P14) $\text{KJ/m}^2 \cdot \text{dia}$
RA	- Resistência aerodinâmica do dossel, $RA=5/2.2$, s/m
RC	- Resistência do dossel para o vapor de água (I9), s/m
Rf	- Respiração de manutenção das folhas (I19), $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{dia}$
RG	- Radiação global de ondas curtas (M20), $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$
RL	- Radiação líquida (M22), $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$
ROL	- Radiação líquida de ondas longas (M21), $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$
Rr	- Respiração de manutenção das raízes (I22), $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{dia}$
Qs	- Radiação solar diária no topo da atmosfera (M18), $\text{MJ/m}^2 \cdot \text{dia}$
Rt	- Respiração de manutenção do tronco/galhos (I21), $\text{Kg/m}^2 \cdot \text{dia}$
SOLO CAP	- Capacidade armazenamento água no solo (P3), m^3
SOLO H ₂ O	- Conteúdo de água no solo (E2), m^3 ou cm
T24	- Temperatura média do ar (M8), °C
Tdia	- Temperatura média horária diurna do ar (M11), °C
TCmax	- Ponto de compensação fotossintética a alta temperatura (P18), °C
Tmax	- Temperatura máxima do ar (M3), °C
TCmin	- Ponto de compensação fotossintética a baixa temperatura (P17), °C
Tmin	- Temperatura mínima do ar (M4), °C
Tnoi	- Temperatura média das mínimas noturnas (M10), °C
TRANS	- Transpiração de Penman-Monteith (I10), m/dia
Tsolo	- Temperatura do solo (M9), °C
URA	- Umidade relativa do ar (M6), %
URA12	- Umidade relativa do ar às 12h
URA18	- Umidade relativa do ar às 18h
URA24	- Umidade relativa do ar às 24h

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 - SITUAÇÃO ATUAL

A ocorrência de modificações ambientais no planeta tais como, a elevação na concentração de CO₂ atmosférico, a poluição do ar, o assoreamento dos rios, os desmatamentos, dentre outras, passou a ser debatida e estudada de forma regional e global eliminando fronteiras geopolíticas. Algumas dessas modificações frequentemente são associadas, direta ou indiretamente, a intervenções antropogênicas nos ecossistemas e especula-se que possam vir a afetar os ciclos terrestres.

O rápido crescimento das intervenções antropogênicas em extensas áreas florestais, através dos processos de desmatamentos, de queimadas e de substituição da vegetação natural, tem chamado a atenção de pesquisadores para os ecossistemas florestais. Esses ecossistemas participam do ciclo hidrológico e do ciclo do carbono e suas interações precisam ser melhor identificadas e quantificadas para que seja possível prever os efeitos causados pelas intervenções nesses ecossistemas sobre os ciclos mencionados. Somente através da elaboração, calibração e validação de modelos de ecossistemas é possível tentar entender as complexas interações existentes. Simulações com modelos calibrados e validados ajudam a discernir o impacto da atividade humana no ambiente.

Diversos modelos, em diferentes escalas, descrevem alguns processos de interesse em ecossistemas florestais tais como o escoamento, a evapotranspiração e a produtividade primária líquida. Na proposição desses modelos observa-se uma preocupação em quantificar as taxas em que esses processos ocorrem e o quanto essas taxas são modificadas pelas intervenções nesses ecossistemas. Apesar desses esforços, ainda não é possível a elaboração de prognósticos muito confiáveis da ocorrência de modificações nesses processos e de suas conseqüências, por duas razões. A primeira é que ainda não se tem uma adequada compreensão da maneira pela qual o sistema ambiental opera. Sabe-se que existem fortes interações entre os processos mencionados, porém conhece-se muito pouco sobre as dimensões regionais, globais e físicas desses processos e de suas conexões. As conexões conhecidas são normalmente qualitativas e muitas vezes especulativas. A segunda razão é que as ações antropogênicas sobre os ecossistemas são dinâmicas e aparentam estar estreitamente envolvidas nos padrões de mudanças ambientais.

As primeiras tentativas de modelagem dos processos de interesse na área florestal, para escalas regional e global, consideravam a paisagem extensa e a vegetação homogênea. Isto permitia a simplificação da modelagem e refletia a impossibilidade de obtenção de informações sobre a heterogeneidade e a dinâmica inerentes a vegetação nessas escalas.

O desenvolvimento de sistemas sensores remotos orbitais, à partir da década de setenta, contribuiu na melhoria da modelagem desses processos, pois possibilitou, inicialmente, a discriminação das classes de vegetação, em diferentes escalas, através de observações sinópticas multiespectrais e repetitivas da paisagem.

Atualmente, o uso mais interessante dos sensores remotos é a possibilidade de fornecer importantes parâmetros estruturais da vegetação. Esses parâmetros podem ser utilizados como variáveis de entrada em modelos de ecossistemas florestais regionais e globais. Com isso, espera-se um refinamento no processo de modelagem e conseqüentemente, na quantificação dos processos de interesse. Dentre os parâmetros estruturais da vegetação, detectáveis por sensores remotos orbitais, o índice de área foliar é um dos mais importantes na quantificação de trocas de energia e massa de comunidades florestais.

Um modelo biogeoquímico florestal desenvolvido dentro dessa filosofia é o Forest-BCG (Running e Coughan, 1988). Esse modelo calcula o ciclo completo da água, do carbono e do nitrogênio para ecossistemas de coníferas a nível regional. O modelo considera que algumas variáveis motrizes, dentre elas o índice de área foliar, podem ser estimadas, numa escala regional, por sensores remotos orbitais.

1.2 - OBJETIVOS DA PESQUISA

Este trabalho visa testar uma adaptação do modelo Forest-BCG, denominada Forecos, para um ecossistema florestal hipotético de coníferas, implementado sob três diferentes condições ambientais. O teste é feito para um conjunto de parâmetros e condições iniciais sem a preocupação de parametrizar a maioria dos valores utilizados para uma determinada localidade ou espécie. Pretende-se com o teste:

- a) Verificar a performance da parte implementada do modelo na representação dos processos modelados, em cada área teste, para diferentes valores de índice de área foliar.

- b) Identificar partes do modelo, parâmetros e condições iniciais que requerem sintonia para aplicações futuras através da exploração dos resultados inesperados das simulações não sintonizadas.
- c) Avaliar a importância relativa dos fatores ambientais, de cada uma das áreas teste, no ano de 1989, na explicação da variação regional da distribuição hidrológica e de carbono prevista pelo modelo.

Este trabalho visa ainda testar técnicas de processamento digital, nas imagens obtidas pelo sensor TM/Landsat-5 de ecossistemas florestais delimitados dentro das áreas teste, com o objetivo de obter padrões de mapeamento de índices de vegetação. Sabe-se, com base na literatura, que esses índices de vegetação apresentam boa correlação com os valores de índice de área foliar. O mapeamento, caso exista, deve representar diferenças relativas nos valores de IAF embora valores absolutos não possam ser validados.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 - O PROCESSO E OS PROBLEMAS DE MODELAGEM EM ECOSISTEMAS FLORESTAIS PARA ESCALA REGIONAL E GLOBAL E A CONTRIBUIÇÃO DO SENSORIAMENTO REMOTO

Os modelos de ecossistema descrevem quantitativamente as interações entre os processos físicos, biológicos e os fatores ambientais que os afetam e tem como finalidade, auxiliar na compreensão das causas desses processos. Esses modelos auxiliam os pesquisadores a predizer o curso dos eventos em situações particulares (Larcher, 1986). Para a elaboração de modelos de ecossistemas é necessário inicialmente entender as interações entre os processos que se pretende modelar para cada ecossistema em estudo.

Os ecossistemas florestais interagem com o ciclo hidrológico e com o ciclo do carbono de diversas maneiras. No ciclo hidrológico pode-se destacar as seguintes interações (ICSU, 1990):

- a) O dossel vegetal e a camada orgânica do solo são pontos de distribuição para a entrada física de água e de energia dentro do sistema. Esses elementos controlam os processos de reflexão superficial, absorção e emissão da radiação, fluxos de calor latente, interceptação da precipitação, dentre outros.
- b) O controle estomatal regula o fluxo de água do solo para a atmosfera em resposta ao balanço existente entre a disponibilidade de água e a demanda de evapotranspiração.
- c) O sistema radicular aumenta a porosidade e a condutividade hidráulica vertical do solo induzindo a uma elevação na capacidade de infiltração de água. Além disso, o sistema radicular aumenta a capacidade de retenção de água no solo e fornece o mecanismo de transporte de água para o dossel.
- d) A biomassa e o sistema radicular aumentam a resistência hidráulica lateral para os fluxos superficiais e subsuperficiais protegendo o solo contra a erosão.

No ciclo do carbono, os ecossistemas florestais apresentam as maiores reservas de carbono orgânico disponíveis, concentradas principalmente na forma de madeira e de matéria orgânica. A produtividade primária líquida dos ecossistemas florestais, entendida como taxa na qual a energia luminosa é armazenada na forma de substâncias orgânicas pela atividade fotossintética, resume a eficiência de troca de energia e de dióxido de carbono (CO_2) entre a atmosfera e esses ecossistemas .

O conhecimento das taxas de fluxo de dióxido de carbono (CO_2) e de água dos ecossistemas florestais, em escala regional e global, auxiliam na compreensão da interação da biosfera com a atmosfera global e a hidrosfera. Estas taxas dependem tanto das características fisiológicas da vegetação quanto do clima. Os modelos que incluem respostas fisiológicas das plantas em sua formulação fornecem uma estimativa mais precisa destas taxas (Running et al. 1989).

De acordo com Running e Coughan (1988) e Running et al.(1989), os modelos utilizados para o cálculo dos fluxos de energia e de massa dos ecossistemas florestais, em geral, não incluem respostas fisiológicas, são estáticos, não tratam os processos de forma determinística e também não são conduzidos por dados específicos para uma determinada condição. Além disso, os modelos utilizados encontram-se em extremos opostos quanto à escala espacial de trabalho. Num extremo, os modelos consideram a paisagem extensa e a cobertura vegetal uniforme apresentando normalmente, um único tipo de vegetação. Nesses modelos considera-se a paisagem como entidade única ou como entidades discretas de 1° de latitude por 1° de longitude com um número limitado de tipos de cobertura vegetal. Além disso, importantes atributos da cobertura vegetal que poderiam influenciar nos processos hidrológicos são negligenciados. Dentre esses atributos pode-se citar:

- a) Extensão, densidade, altura, perenidade e fenologia da vegetação.
- b) Estrutura do dossel, em especial a área foliar e o perfil da distribuição foliar.
- c) Resposta média da abertura estomatal dos tipos de vegetação.

Em outro extremo, tem-se modelos de ecossistema elaborados desde o nível de uma planta individual até ao nível de estande. É necessário o desenvolvimento de modelos em escala intermediária para que seja possível acoplar as observações realizadas desde o nível de um canteiro experimental até ao nível de observações globais. Com estes acoplamentos, as medidas realizadas em uma escala podem fornecer validações para modelos em outras escalas. A escala intermediária apropriada é difícil de determinar, pois depende do processo que está sendo modelado, da disponibilidade de dados nas diferentes escalas e das limitações computacionais.

Em cada nível deve ser também considerado a interação entre modelos desenvolvidos separadamente para os domínios físico e biológico. Onde não existem esses modelos numa escala comum é necessário o seu desenvolvimento. O que se faz normalmente para suprir a ausência de modelos em determinadas escalas é a utilização de um certo grau de abstração e extrapolação. Assim, alguns modelos desenvolvidos a nível de folha individual são utilizados para o nível de uma ecossistema regional.

As interações dos ecossistemas florestais com o ciclo hidrológico e o ciclo do carbono, numa escala continental, necessitam serem acopladas a modelos climáticos globais. Assim, as inferências dos efeitos das mudanças destes ciclos no clima podem ser menos especulativas.

Com o lançamento de sistemas sensores orbitais, à partir da década de setenta, delineou-se a possibilidade de discriminação, quantificação e classificação rotineira dos principais tipos de biomas, em diferentes escalas espaciais. A utilização dessa tecnologia reduziu a necessidade de extrapolações à respeito da vegetação.

Recentemente, os esforços concentram-se na tentativa de quantificar algumas propriedades biológicas e ambientais tais como, a biomassa, conteúdo de umidade no solo, índice de área foliar e conteúdo de proteína nas folhas. O estágio atual destas pesquisas ainda é exploratório e a identificação dessas relações são dependentes para determinados locais ou para determinadas espécies. As tentativas baseiam-se em correlações estabelecidas entre as variáveis de interesse com a reflectância espectral, registrada pelos sensores orbitais.

Com a possibilidade de se obter uma base de dados destas variáveis em escala regional e futuramente, em escala global, espera-se a elaboração de modelos nessas escalas que possam ser conduzidos por variáveis detectáveis por sistemas sensores. O desenvolvimento contínuo do uso combinado de dados de satélite com a teoria e a modelagem ecológica deve melhorar a capacidade de inferir propriedades e fluxos de massa e energia da superfície da terra. O maior problema de se utilizar as variáveis detectáveis por sensoriamento remoto nos estudos ecológicos globais é como relacionar as observações realizadas nos diversos níveis de resolução espacial e como verificar a perda de informações ocorrida na passagem de um nível para o outro.

Os sensores remotos orbitais mais utilizados nos estudos de ecossistemas florestais são o Thematic Mapper (TM), à bordo dos satélites Landsat 4 e 5, e o Advanced Very High Resolution (AVHRR), à bordo dos satélites meteorológicos da série NOAA. A escolha do tipo de sensor orbital deve se ajustar ao tipo de observação a ser realizado, à escala de trabalho e à dinâmica do ecossistema a ser estudado. Para estudos de correlações entre variáveis da vegetação e dados espectrais, a escolha está condicionada, principalmente, à disponibilidade da base de dados terrestres dentro dos limites da resolução espacial dos sensores.

As faixas espectrais de atuação desses sensores mais utilizadas para estudos da vegetação são a faixa espectral do vermelho e do infravermelho próximo. Estas faixas espectrais correspondem respectivamente ao canal 3 (630 a 690 nm) e ao canal 4 (790 a 890 nm) para o sensor TM e ao canal 1 (550 a 680 nm) e ao canal 2 (725 a 1100 nm) para o sensor AVHRR. Essas regiões espectrais são selecionadas de modo a fornecerem um sinal característico da resposta espectral da vegetação e um contraste espectral com a superfície de fundo.

A reflectância na faixa espectral do vermelho é inversamente proporcional à quantidade de clorofila presente na cobertura foliar da vegetação e é um indicativo do vigor da vegetação. Além disso, apresenta um maior contraste espectral em relação ao solo do que a faixa espectral do verde e não é tão afetada pela interferência atmosférica quanto a faixa espectral do azul.

A escolha da faixa espectral do infravermelho próximo é devido a baixa absorção pela vegetação e aos mecanismos de espalhamento múltiplo do mesófilo foliar. Outro motivo é que essa faixa espectral apresenta baixa absorção pelo vapor de água (Tucker e Sellers, 1986).

A utilização das medidas espectrais obtidas nessas duas faixas espectrais, de maneira individual ou combinadas na forma de índices de vegetação, tem sido utilizadas nas estimativas das propriedades dos dosséis tais como, fitomassa, índice de área foliar, porcentagem de cobertura, densidade de clorofila, dentre outras (Asrar et al., 1989).

O índice de vegetação é obtido através da razão, diferenciação ou outro tipo de combinação ou transformação de dados espectrais. Os índices mais utilizados nos estudos de índice de área foliar de dosséis florestais são a razão simples (infravermelho próximo/vermelho) e a diferença normalizada (infravermelho próximo - vermelho/infravermelho próximo + vermelho). Estes dois índices combinam duas propriedades inerentes ao dossel vegetal e que variam de maneiras opostas. A razão simples combina um efeito positivo devido ao espalhamento no infravermelho próximo com uma variação inversa, decorrente da absorção na faixa espectral do vermelho, produzindo um valor numérico positivo. Além disso, a razão simples compensa alguma parte da variação na radiação refletida atribuída à diferença da topografia; entretanto, não elimina o espalhamento atmosférico diferenciado para cada banda (Peterson et al., 1987). A diferença normalizada é mais utilizada em estudos multitemporais de uma mesma cobertura vegetal, pois apresenta-se mais constante em relação às variações de condições atmosféricas do que as bandas individuais (Mather, 1987).

Apesar do desenvolvimento esperado dos sistemas sensores orbitais, os estudos de ecossistemas florestais não devem se basear somente em técnicas espaciais. É necessário também observações a nível de aeronave e observações terrestres. É necessário concentrar esforços tanto na realização de trabalhos de campo para validar e calibrar medidas de satélite, como também em estudos locais de biomas e de zonas climáticas.

2.2 - CONCEITO DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) E MÉTODOS DE ESTIMATIVA DE ÁREA FOLIAR DE CONÍFERAS A NÍVEL DE ESTANDE FLORESTAL

Para o conhecimento e a quantificação dos processos de produção primária em ecossistemas florestais é importante medir e parametrizar a produção fotossintética das comunidades em estudo. A base padrão normalmente utilizada é a área foliar das plantas pertencentes a essas comunidades. Geralmente, a área foliar é expressa em termos de índice de área foliar (IAF). O IAF também é utilizado para a estimativa de evapotranspiração.

O IAF, proposto por Watson (1947, citado por Johnson, 1984), é a razão entre a área de somente um lado das folhas verdes contidas dentro de uma parcela amostral do terreno e a área dessa parcela. Nessa definição considera-se a área superficial projetada das folhas individuais sem considerar a sua distribuição angular. As distribuições do ângulo foliar são consideradas na estimativa da superfície real projetada na direção do fluxo solar que é utilizada nos modelos de transferência de radiação do dossel (Peterson e Running, 1989). A área superficial projetada das folhas individuais é utilizada, tradicionalmente, na estimativa de interceptação da radiação para o cálculo da eficiência de conversão da energia luminosa em energia química e no cálculo de trocas gasosas de folhas epiestomáticas e hipostomáticas. O índice é adimensional e descreve a capacidade de uma comunidade vegetal em interceptar a radiação fotossinteticamente ativa.

De acordo com Johnson (1984), alguns autores utilizam erroneamente a área superficial total, ou seja, dos dois lados da folha para o cálculo do IAF. Essa área tem sido utilizada exclusivamente para trocas gasosas em folhas amphiestomáticas, como as acículas de coníferas.

A determinação de uma metodologia rápida, de baixo custo, que permita a estimativa da área foliar e conseqüentemente do IAF a nível de estandes florestais, compatíveis com a resolução espacial dos sistemas sensores orbitais, é de suma importância para os estudos ecológicos regionais. A determinação e validação dessa metodologia para estandes florestais de coníferas, bem como, de uma metodologia para determinação da área foliar de uma árvore individual passam inicialmente pela determinação da área de suas acículas.

A metodologia mais direta de determinação da área foliar de uma árvore é simplesmente através da decalcação de todas as suas acículas e medição da área de cada uma. O somatório dos valores das medições é a área foliar total. Outra metodologia utilizada é através da amostragem de galhos ou classes de galhos de forma aleatória ou sistemática. A área foliar média dessas amostras, multiplicada pelo número de galhos, fornece a área foliar total. Na utilização destas duas metodologias a técnica destrutiva indireta mais utilizada para a medição da área foliar de cada acícula é a do planímetro ótico. Essa técnica é mais recomendada para espécies de folhas largas, onde a área superficial é primariamente uma função do comprimento e da largura da folha. A sua adequabilidade para acículas é menor porque a largura das acículas aproxima-se de sua espessura, não podendo assim, ser ignorada. Nesse caso, utiliza-se um fator de correção obtido através de medições diretas de áreas superficiais planas e curvas de seções transversais das acículas, relacionando-se assim a área superficial projetada com a área superficial total (Drew e Running , 1975; Johnson, 1984). Diversas outras técnicas destrutivas indiretas tem sido propostas baseadas em relações de área e deslocamento de volume de água (Johnson, 1984; Brand, 1987); relações de área-volume-peso (Gurumurti e Srivastava, 1982); relações de área-peso (Swank e Schreuder, 1974), dentre outras.

As duas metodologias apresentadas anteriormente obviamente são válidas a nível de árvore individual e impraticáveis quando aplicados a nível de estandes florestais em função da mão de obra, do tempo e dos recursos financeiros necessários. Desta maneira diversas pesquisas foram e estão sendo feitas no sentido de determinar uma técnica indireta não destrutiva aplicável a este nível. Pode-se destacar duas linhas de pesquisa. Inicialmente, Shinozaki et al. (1964, citado por Jurik et al., 1985) propuseram que a fitomassa foliar deveria estar relacionada com a área da seção transversal do tecido vascular ativo acima de um determinado ponto no tronco. Desde então, essas relações tem sido estabelecidas para diversas espécies, em diferente localidades, como pode ser observado nos trabalhos de Grier e Waring, (1974); Blanche et al., (1985); Marshall e Waring, (1986) e Gower et al., (1987). Essas relações são determinadas através de equações alométricas que comparam taxas de crescimento relativo de diferentes partes das plantas entre si ou com o crescimento de toda a planta. Geralmente apresentam-se na forma linear ou logarítmica do tipo:

$$\ln(Y) = a + b \cdot \ln(X) \quad (2.2.1)$$

onde:

Y é a variável de interesse, no caso, peso seco das acículas;
 X é a variável facilmente levantada em campo, como diâmetro a altura do peito (DAP) ou área basal do alburno;
 a e b são coeficientes de ajuste da equação.

Posteriormente, a fitomassa foliar seca é convertida para área foliar utilizando-se uma razão de área superficial e peso seco.

A descoberta das relações alométricas possibilitou o estudo da área foliar das florestas de coníferas para as localidades onde foram determinadas. Entretanto, para cada nova localidade em estudo é necessário a construção e a calibração dessas equações através de amostragens destrutivas e medições da área total das acículas. Esta linha de pesquisa não é apropriada para a estimativa da área foliar de uma dada espécie submetida a diferentes condições ambientais, pois as relações variam de acordo com as condições ambientais de cada localidade, densidade do estande e classe de cobertura (Long e Smith, 1988; Pierce e Running, 1988).

A outra linha de pesquisa, proposta por Jordan (1969, citado por Jurik et al., 1985), baseia-se na adequação da Lei de extinção de Beer-Lambert para estudos de penetração de luz em comunidades vegetais. A Lei de Beer-Lambert é dada por:

$$Q_1 = Q_0 \exp (-KX) \quad (2.2.2)$$

onde:

Q_1 é a irradiância medida no nível de coleta desejado;
 Q_0 é a irradiância medida na parte superior do meio em estudo;
 K é o coeficiente de extinção da luz;
 X é a profundidade ótica ou a distância percorrida no meio.

Nesta adequação assume-se que existe uma uniformidade horizontal no dossel ou seja, a radiação numa determinada camada é constante. Além disso, assume-se como aleatória a distribuição espacial das folhas no dossel, os ângulos de inclinação foliar apresentam-se esfericamente distribuídos e o IAF representa a profundidade ótica do dossel. A Lei de extinção de Beer-Lambert pode ser então reescrita por:

$$\text{IAF} = -\ln(Q_0 / Q_1) / K \quad (2.2.3)$$

onde:

- IAF é o índice de área foliar;
- Q_0 é a irradiância medida abaixo do dossel;
- Q_1 é a irradiância medida no topo do dossel;
- K é o coeficiente de extinção da luz dentro do dossel.

A irradiância ou radiação global considerada nesta abordagem compreende a soma da radiação solar direta e difusa limitada a faixa espectral compreendida entre 400 a 700 nm (radiação fotossinteticamente ativa).

A medição da radiação solar global no topo do dossel é relativamente simples sendo realizada através da instalação de sensores do tipo piranômetros em torres ou clareiras próximas aos estandes. Entretanto, a medição da radiação global abaixo do dossel é complicada devido a sua distribuição irregular tanto no tempo quanto no espaço. Essa distribuição irregular está relacionada principalmente com a estrutura e distribuição dos elementos do dossel e a quantidade de radiação incidente no topo do dossel.

Do total da radiação solar global incidente sobre o dossel parte é refletida, parte é absorvida e o restante atinge o piso da floresta. Essa última parte pode ser dividida em quatro componentes:

- 1) Fluxo de radiação direta penetrante que é a parte do fluxo direto que atravessa o dossel sem ser obstruído pelos seus elementos. Esse fluxo normalmente forma manchas com sol no piso da floresta.
- 2) Fluxo de radiação direta refletida que é a parte do fluxo direto refletido ou espalhado pelos elementos componentes do dossel.

- 3) Fluxo de radiação difusa penetrante que é a parte do fluxo difuso que atravessa o dossel sem ser obstruído por seus elementos.
- 4) Fluxo de radiação difusa refletida que é a parte do fluxo difuso refletido ou espalhado pelos elementos componentes do dossel.

A amostragem da radiação integrada dos três últimos componentes abaixo do dossel é realizada sem maiores problemas devido a sua uniformidade decorrente do espalhamento dos elementos do dossel. Entretanto, a amostragem do fluxo de radiação direta penetrante é complicada e não pode deixar de ser considerada, principalmente em horários próximos ao meio dia (Gay et al., 1970). Diversos esquemas de montagem e distribuição de piranômetros móveis e fixos tem sido propostos para permitir uma adequada amostragem do fluxo de radiação direta penetrante.

Reifsnnyder et al. (1971) utilizaram piranômetros fixos dispostos em série e aleatoriamente distribuídos entre as fileiras de plantio de estandes florestais. Esses autores concluíram que o número de sensores necessário para amostrar o fluxo de radiação direta penetrante varia de acordo com o tipo de comunidade florestal em estudo e decresce sensivelmente com o aumento do período de integração do sinal. O aumento do tempo de integração compensa a variabilidade temporal da radiação solar incidente no piso do dossel.

A utilização de piranômetros móveis sob trilhos, dispostos no plano horizontal dos estandes, registra melhor a radiação solar global no piso do dossel, pois capta tanto a variabilidade temporal quanto a variabilidade espacial da radiação quando os sinais são integrados durante todo o dia (Brown, 1973; Péck, 1986).

Apesar do desenvolvimento destas metodologias e da existência de sensores adequados para medição da radiação fotossinteticamente ativa ainda há limitações para a avaliação da transmitância dos dosséis florestais distribuídos sobre grandes áreas. As limitações são de ordem financeira, operacional e de tempo necessário para obtenção das medições. Ainda se faz necessário o desenvolvimento de uma técnica que permita uma estimativa rápida da transmitância da radiação solar global a nível de estande.

Recentemente, Pierce e Running (1988), utilizando um radiômetro de integração portátil, mediram a radiação solar global de 96000 pontos amostrais localizados dentro de cada talhão de florestas de coníferas, com área de um hectare cada. As medições foram realizadas em sete dias sem nuvens, às 12:00 e 14:00 horas, em sete talhões com três diferentes espécies. O tempo necessário para a realização das medições dentro de cada talhão foi menor do que uma hora. O índice de área foliar estimado através da transmitância foi altamente correlacionado com o IAF medido através de equações alométricas, tanto para o horário de medição de 12:00 h ($R^2=0.97$) quanto para o de 14:00 h ($R^2=0.94$). Os resultados obtidos sugerem que essa técnica é rápida e apresenta uma larga aplicabilidade para as condições na qual foi testada ou seja, faixa de IAF de 1,7 a 5,3 m^2/m^2 , densidade de 450 a 4140 árvores/ha e ângulo de iluminação de 32° a 57°.

No Brasil, segundo a literatura consultada, nenhum trabalho de quantificação do IAF em estandes de coníferas foi realizado através de equações alométricas ou da transmitância da luz no dossel. As limitações para medição da transmitância da radiação solar global são várias e impostas, principalmente, pelo custo elevado dos piranômetros. Este fato limita a disponibilidade desses instrumentos em número adequado para a medição da radiação de uma forma mais precisa.

Santos (1990) sugere a utilização de piranômetros portáteis de baixo custo desenvolvidos no país, como o proposto por Sesso e Lima (1990), para a quantificação da radiação fotossinteticamente ativa acima e abaixo do dossel. De acordo com esse pesquisador, a determinação e quantificação das áreas ocupadas com sombra e sol (fluxo de radiação direta penetrante) sob o dossel, sob condições de céu claro, podem ser utilizadas para a ponderação de medições instantâneas de radiação obtidas nestes dois tipos de área. A soma das medições médias ponderadas realizadas nas áreas de sol e sombra forneceria uma boa estimativa da radiação global existente.

2.3 - ESTIMATIVA DO VALOR DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR (IAF) EM ESCALA REGIONAL ATRAVÉS DE TÉCNICAS DE SENSORIAMENTO REMOTO

A estimativa do valor do índice de área foliar (IAF) de extensas áreas florestais ou agrícolas, para estudos ecológicos regionais ou globais, só é possível através do uso de dados multiespectrais registrados por sensores remotos orbitais ou a bordo de aeronaves. Para isso é necessário desenvolver modelos sólidos que representem as relações entre estes dados e os valores de IAF. De uma maneira ideal dever-se-ia utilizar modelos determinísticos ou modelos estocásticos. Entretanto, a presença de variáveis desconhecidas e não mensuráveis e o elevado grau de erros experimentais restringe a utilização desses modelos que tem, muitas vezes, demonstrado a necessidade de se utilizar modelos empíricos (Curran e Williamson, 1987).

Os modelos empíricos tem a finalidade de exploração de dados, sugerindo relações que podem ser futuramente refinadas por modelos com mais componentes determinísticos. Estes modelos, quando utilizados em condições para as quais tenham sido calibrados, podem produzir inferência de cena com muita precisão (Strahler et al., 1986).

Os modelos empíricos para estudos do IAF da vegetação consistem, geralmente, na obtenção dos valores de radiância ou de reflectância do dossel para cada pixel da imagem, nas bandas do vermelho e infravermelho próximo. Estes valores são utilizados no cálculo de índices de vegetação. Os valores desses índices, para alguns pixels amostrais selecionados na imagem, são então diretamente correlacionados com valores de IAF estimados para a área correspondente ao pixel no terreno, com base em áreas amostrais. As equações de regressão originadas são então utilizadas para calcular os valores de IAF para toda a área em estudo, à partir dos valores dos índices de vegetação do restante da imagem.

A obtenção dos valores de radiância ou de reflectância do dossel é feita a partir da extração dos números digitais ou níveis de cinza das imagens, registrados em fitas compatíveis com computador (CCT). As metodologias utilizadas para a estimativa do IAF, dentro de cada área amostral no terreno, foram discutidas anteriormente.

Embora este tipo de enfoque apresente inconsistências, não existem alternativas para preencher a lacuna existente entre os modelos empíricos, utilizados para escalas regionais, e os modelos analíticos detalhados disponíveis somente até ao nível de estande.

Com base no grande volume de informações sobre parâmetros culturais de dosséis agrícolas, coletados em campo, e sobre os valores de reflectância, medidos ou calculados através de modelos, está estabelecido que a reflectância desses dosséis é sensível ao IAF (Wiegand et al., 1979; Holben et al., 1980; Kimes et al., 1981; Goel e Thompson, 1984; Asrar et al., 1984; Hatfield et al., 1985). Entretanto, para os dosséis florestais muito pouca informação está disponível quanto a esta sensibilidade. Existe um número muito reduzido de medidas simultâneas de reflectância tomadas sobre os dosséis florestais e de suas variáveis estruturais que poderiam influenciar na resposta espectral. Este fato pode ser explicado pelo tamanho e pelo ciclo longo das florestas que dificulta e onera a montagem logística de experimentos.

Na maioria dos estudos realizados para a estimativa do valor do índice de área foliar de florestas, em escala regional, pressupõe-se que as variações observadas na reflectância espectral estão relacionadas unicamente ao IAF. Fatores potencialmente importantes do dossel que afetam a reflectância espectral tais como, a distribuição vertical e a distribuição dos ângulos de inclinação das folhas, as propriedades de reflectância, transmitância e espalhamento foliar, dentre outros não são considerados. Além disso, a escolha das áreas teste selecionadas recaem sobre florestas de coníferas homogêneas, extensas e maduras com dosséis fechados. Essas características fazem com que estes alvos apresentem uma pequena variação espacial interna não havendo presença significativa de substratos diferenciados que poderiam interferir de maneira substancial na resposta espectral dos estandes.

Running et al. (1986) apresentaram os primeiros resultados da tentativa de avaliar, numa escala regional, o IAF de florestas de coníferas do Oregon-USA distribuídas em sete zonas geográficas e ambientais distintas. Foi uma das primeiras tentativas de estabelecer relações entre os índices de vegetação razão simples e diferença normalizada, calculados para alguns pixels da imagem, com os valores de IAF medido em campo.

A maioria das comunidades selecionadas nesse estudo consistiam de florestas maduras com dosséis homogêneos e fechados, porém com variações quanto a arquitetura e estrutura das 14 espécies selecionadas. As estimativas da área foliar dos estratos superior e inferior, nos 18 locais de amostragem selecionados, foram obtidas através de equações alométricas. A faixa de variação do IAF nestes locais variou de 0.6 a 15.9 m²/m². Os estandes foram selecionados em terrenos uniformes com declividade menor que 40% e no mínimo com 5 ha de área para fornecer uma amostragem adequada dos valores dos números digitais. As medidas espectrais foram obtidas com o sensor Daedalus Airborne Thematic Mapper (ATM) à bordo do ER-2, voando a 20.000 metros de altitude, com uma resolução espacial de 20-24 metros e calibrado para responder conforme as bandas do sensor TM à bordo do Landsat-5. O valor médio dos níveis de cinza dos pixels, para cada local de amostragem, foi convertido para radiância e corrigido para os efeitos de absorção e espalhamento atmosférico (Spanner et al., 1984). O índice de vegetação de melhor ajuste na regressão linear foi a razão simples. Não houve diferença significativa, a nível de 5%, dos coeficientes de determinação da razão simples com e sem correção atmosférica embora houvesse uma maior sensibilidade do sensor ao IAF quando realizou-se a correção atmosférica. A regressão log-linear $Y=a.X^b$ também foi testada e descreveu melhor o relacionamento assintótico das variáveis do que a regressão linear (Fig. 2.3.1).

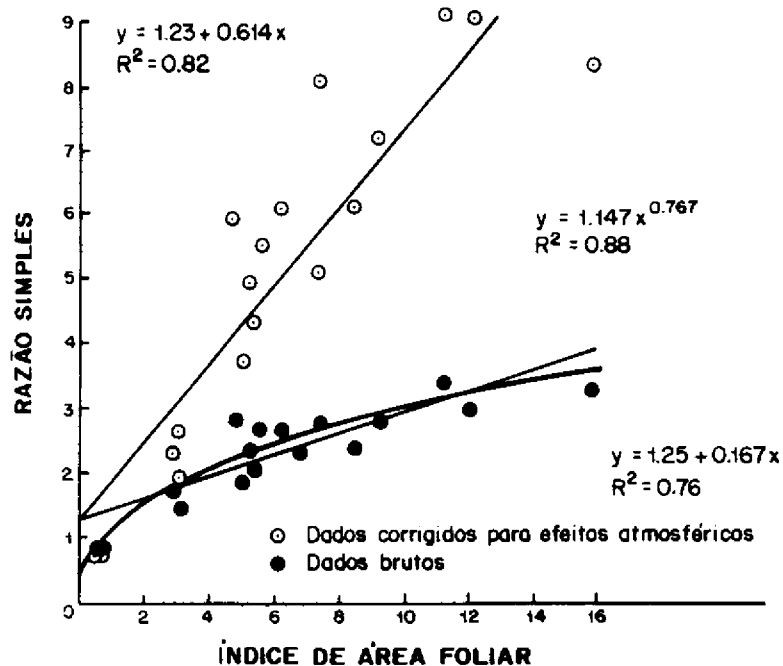


Fig. 2.3.1 -Relações entre valores do índice de vegetação razão simples do sensor ATM e valores de IAF de estandes de coníferas. Adaptada de Running et al. (1986), p.274 e Spanner et al.(1984), p.1304.

Refinando o tratamento dispensado aos dados levantados no trabalho anterior, Peterson et al. (1987) relacionaram os valores de IAF medidos com os valores de radiância, corrigidos também para efeitos topográficos, nas faixas espectrais do vermelho, do infravermelho próximo e com o índice de vegetação razão simples. Para a faixa espectral do vermelho o padrão de comportamento observado foi conforme o esperado. Apresentou um decréscimo da radiância com o aumento do IAF até assumir uma configuração assintótica devido a absorção pela clorofila. Entretanto, o ponto de saturação obtido à partir do IAF=6-8 é que diferiu dos resultados dos trabalhos com culturas e gramíneas onde a saturação ocorre em torno do IAF=3-4 (Peterson e Running, 1989) (Fig. 2.3.2).

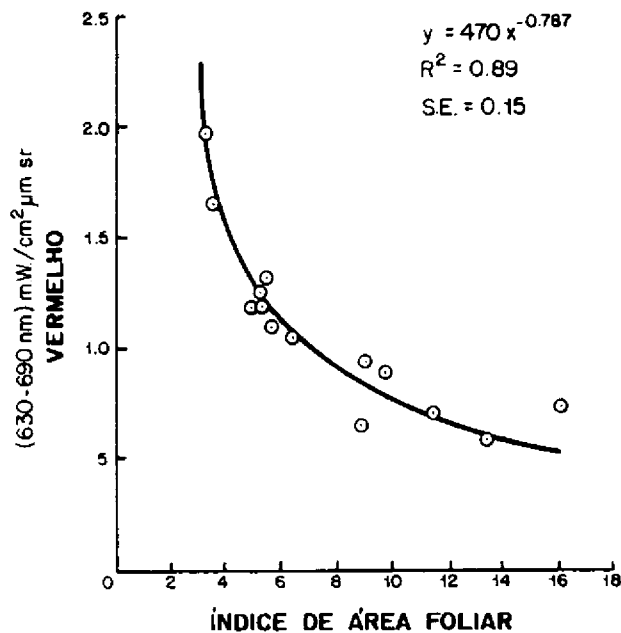


Fig. 2.3.2 -Relações entre valores de radiância na faixa espectral do vermelho e valores de IAF de estandes de coníferas.

Fonte: Peterson et al. (1987), p.334.

Para a faixa espectral do infravermelho próximo a relação com o IAF foi completamente variável e relativamente horizontal apesar da inclusão de diversas espécies com arquiteturas e estruturas diferentes. O resultado foi inesperado e os autores atribuíram, como possível explicação, a organização espacial e a forma característica das acículas mais do que em decorrência das diferenças de suas características espectrais (Fig. 2.3.3).

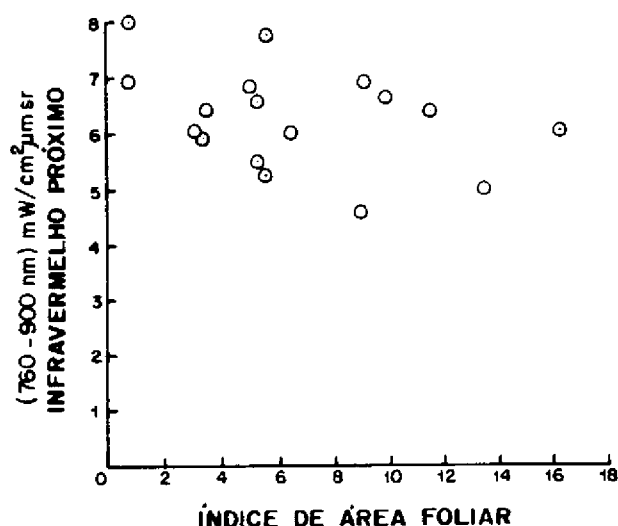


Fig. 2.3.3 -Relações entre valores de radiância na faixa espectral do infravermelho próximo do sensor ATM e valores de IAF de estandes de coníferas.

Fonte: Peterson et al. (1987), p.333.

Kleman (1984) trabalhando com assinaturas espectrais de três comunidades distintas de coníferas em Stockholm na Suécia, obteve resultados semelhantes para a faixa espectral do infravermelho próximo. As medidas espectrais foram obtidas com a utilização de radiômetro instalado em helicóptero e visadas no nadir.

A regressão log-linear entre a razão simples e o IAF foi a que apresentou melhor ajuste, tornando-se lentamente assintótica para o IAF em torno de 10. A regressão linear entre as medidas espectrais corrigidas e não corrigidas para os efeitos atmosféricos não apresentou diferença significativa, ao nível de 5% de significância, embora tenha aumentado a sensibilidade da reta para as medidas corrigidas (Fig. 2.3.4).

Os resultados apresentados nesses trabalhos iniciais sugerem que a maior parte da variação dos valores de IAF de florestas maduras de coníferas, com dosséis fechados pode ser explicada pelo índice de vegetação razão simples.

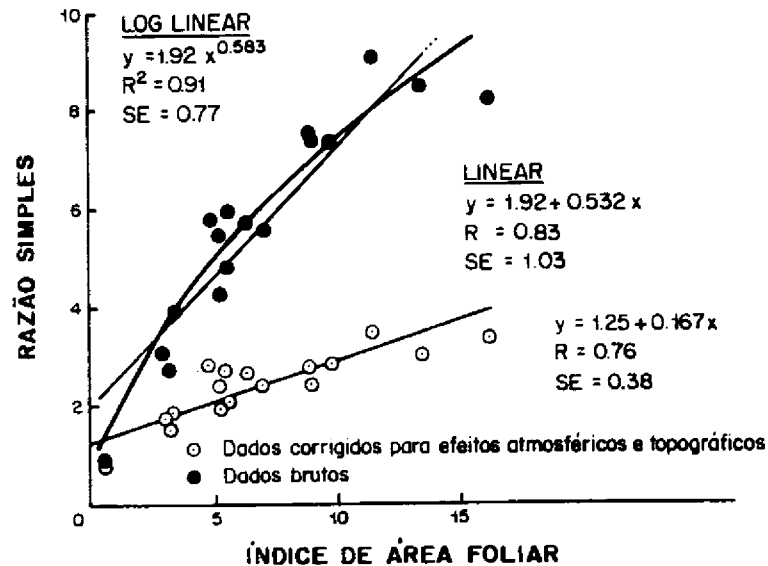


Fig. 2.3.4 - Relações entre valores do índice de vegetação razão simples do sensor ATM e valores de IAF de estandes de coníferas.

Fonte: Peterson et al. (1987), p.337.

Badhwar et al. (1986a) apresentaram uma abordagem hierárquica de níveis de aquisição de dados com o objetivo de mapear o IAF de florestas boreais decíduas localizadas em Minnesota-USA em escalas diferentes. A idéia desta abordagem é fornecer um mecanismo para acoplar a escala de um canteiro experimental até a uma escala continental e ao mesmo tempo conhecer as perdas de informações que ocorrem na extrapolação de pequenas para grandes áreas. As medidas espectrais, corrigidas para os efeitos atmosféricos, foram obtidas a nível de campo através de sensor acoplado em helicóptero (Badhwar, 1986b), a nível de aeronave e a nível orbital utilizando o sensor TM a bordo do Landsat-5. As estimativas da área foliar dos estratos superior dos talhões selecionados foram obtidas através de equações alométricas estabelecidas, por amostragens destrutivas, em talhões vizinhos aos selecionados. As medidas espectrais foram correlacionadas com as medidas de IAF e os poucos resultados apresentados indicam a possibilidade de se utilizar dados do sistema Landsat para produzir o mapeamento do IAF de florestas boreais decíduas.

Nemani e Running (1989) correlacionaram valores do índice de vegetação diferença normalizada, obtidos à partir de medidas espectrais do sensor TM/Landsat-5 e AVHRR/NOAA, com medidas de campo de IAF das florestas de coníferas localizadas em Montana-USA. Os números digitais dos pixels selecionados na imagem TM foram convertidos para valores de radiância e corrigidos para efeitos topográficos de declividade e de orientação do declive de cada talhão. Para a imagem AVHRR extraiu-se os números digitais dos pixels, após as correções geométricas. Não foram realizadas correções atmosféricas em nenhuma das imagens. Os valores estimados de área foliar, para os 17 talhões amostrais cobertos pela imagem TM, foram obtidos através de equações alométricas. Os valores estimados de área foliar, para os 53 talhões amostrais cobertos pela imagem NOAA, foram obtidos através de equações alométricas e de valores simulados. A faixa de variação do IAF ficou entre 1.5 e 4.0 m²/m². A simulação dos valores de área foliar baseou-se no conceito, desenvolvido por estes autores, de equilíbrio existente entre clima, capacidade de retenção de água e máximo possível de área foliar. Os resultados obtidos para os dados TM mostram que a exclusão de alguns talhões com composições de espécie diferentes afeta a correlação log-linear entre os dados. A exclusão de dois talhões de determinada espécie, que apresentavam propriedades espectrais das acículas diferentes das demais, melhorou a correlação entre os dados (Fig. 2.3.5).

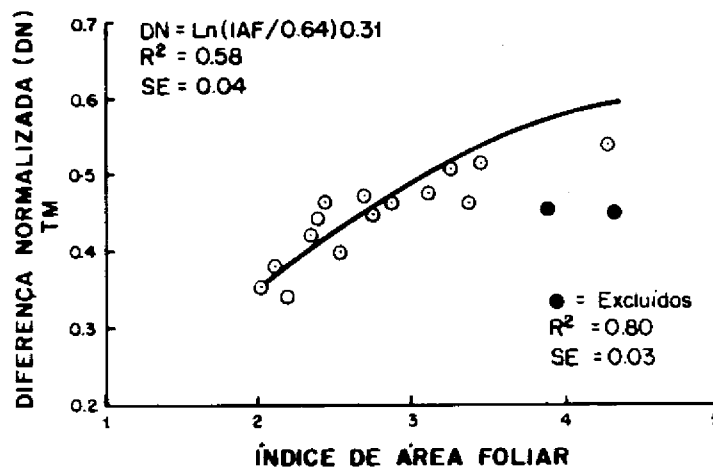


Fig. 2.3.5 -Relações entre valores do índice de vegetação diferença normalizada do sensor TM e valores de IAF de estandes de coníferas.

Fonte: Nemani e Running (1989), p.256.

Os resultados obtidos para os dados AVHRR confirmam a relação existente entre os dados e a inclusão de todos os talhões não deteriora a correlação. Provavelmente, este fato é devido as bandas espectrais mais largas e a maior resolução espacial do sensor AVHRR em relação ao sensor TM que minimiza o domínio da reflectância espectral de componentes individuais da cena (Fig. 2.3.6).

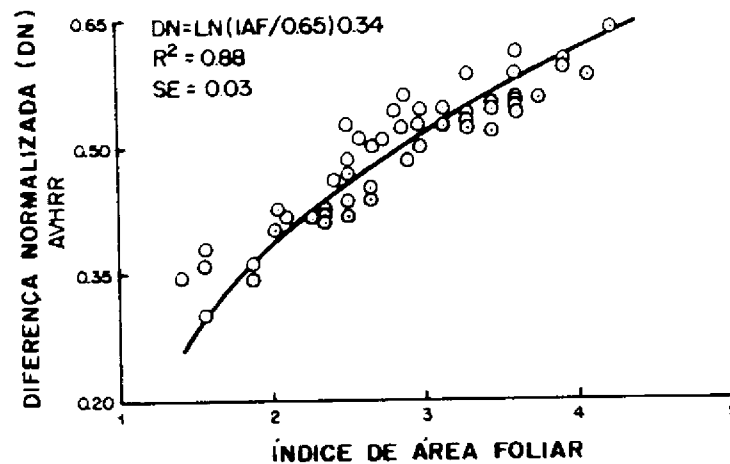


Fig. 2.3.6 -Relações entre valores do índice de vegetação diferença normalizada do sensor AVHRR e valores de IAF de estandes de coníferas.

Fonte: Nemani e Running (1989), p.257.

Curran et al. (1990) fizeram a primeira tentativa de utilizar o índice de vegetação diferença normalizada para tentar estimar a sazonalidade dos valores de índice de área foliar de plantações de uma espécie de pinus, localizadas em áreas planas na parte norte da Flórida-USA. As medidas espectrais foram obtidas em três imagens do sensor TM/Landsat-5, obtidas em épocas distintas, corrigidas geometricamente. As imagens também passaram pelos processos de correção radiométrica, correção atmosférica e normalização para os efeitos do ângulo solar zenital. Os valores mensais de IAF foram obtidos por técnicas destrutivas em parcelas amostrais do terreno. Obteve-se uma relação linear positiva entre os valores de índice de vegetação e os valores de índice de área foliar para as três datas de passagem com os valores de R^2 de 0.35, 0.75 e 0.86 para fevereiro de 1988, setembro de 1988 e março de 1989. As relações obtidas foram testadas em outros canteiros experimentais e demonstraram o potencial de se utilizar os dados TM para estudar mudanças sazonais nos valores de índice de área foliar.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 - LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DAS ÁREAS TESTE

Para o teste do modelo Forecos escolheu-se três áreas teste localizadas nos Estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio Grande do Sul uma vez que estes estados apresentam significativos plantios de coníferas submetidos a diferentes condições climáticas (Figura 3.1).

A área teste do Estado de Minas Gerais localiza-se no município de Grão Mogol, compreendida entre as coordenadas geográficas de 16°00' e 16°27' de latitude sul e 42°21' a 42°52' de longitude oeste. Esta área, denominada de região Gama, pertence a empresa Florestas Rio Doce S.A. e consiste de uma área reflorestada de aproximadamente 34.300 ha sendo aproximadamente 19.000 ha com eucaliptos e 15.300 ha com coníferas. A área reflorestada concentra-se nas chapadas existentes nessa região onde a altitude média é de 1000 metros.

A área teste do Estado de São Paulo localiza-se no município de Mogi Guaçu a 22°18' de latitude sul e 47°13' de longitude oeste. Esta área, denominada de Estação Experimental de Mogi Guaçu, pertence ao Instituto Florestal de São Paulo e ocupa uma área aproximada de 4.000 ha sendo 2.100 ha reflorestado com coníferas e o restante com eucaliptos e vegetação natural. A altitude média da propriedade é de 600 metros.

A área teste do Estado do Rio Grande do Sul localiza-se no município de Passo Fundo a 28°19' de latitude sul e 52°18' de longitude oeste. Esta área, denominada de Floresta Nacional de Passo Fundo, pertence ao Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Renováveis-IBAMA e ocupa uma área aproximada de 1.300 ha sendo 670 ha com coníferas e o restante com eucaliptos e vegetação natural. A altitude média da propriedade é de 780 metros.

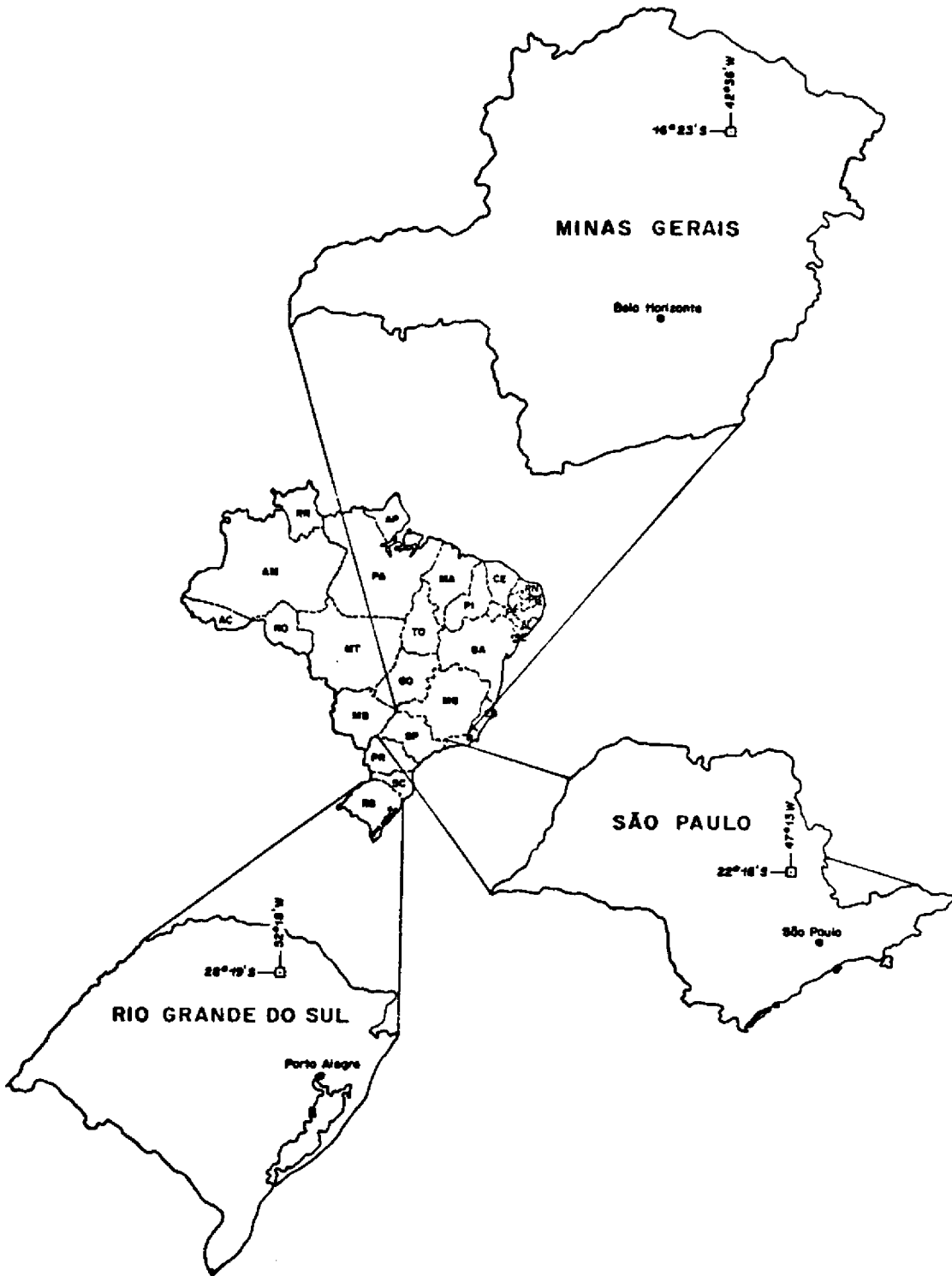


Fig. 3.1 - Localização das áreas teste.

Dentro das áreas teste escolhidas nestes três estados selecionou-se e delimitou-se, em cada uma das imagens TM/Landsat-5, três regiões plantadas com Coníferas. As áreas delimitadas dentro da região Gama encontram-se reflorestadas com Pinnus eliottii plantado em 1976. Localizam-se nas chapadas uniformes de relevo suave ondulado constituídas de solos do tipo Latossolo Vermelho-Escuro e Latossolo Vermelho-Amarelo ambos distróficos, com horizonte A proeminente e fase cerrado (SIF, 1976). As áreas delimitadas dentro da Estação Experimental de Mogi Guaçu encontram-se reflorestadas com Pinnus spp, principalmente com Pinnus eliottii, plantado entre os anos de 1958 e 1966. Os solos predominantes nestas áreas de relevo suave ondulado são o Latossolo Vermelho-Amarelo, álico, A moderado, textura média e o Latossolo Vermelho-Amarelo, álico, horizonte A moderado e textura argilosa (Oliveira, 1982, 1985). As áreas delimitadas dentro da Floresta Nacional de Passo Fundo encontram-se plantadas com espécies de coníferas sendo 390 ha com Araucária angustifolia, variando de 05 a 43 anos de idade, e 280 ha com Pinnus spp, variando de 05 a 33 anos de idade. O tipo de solo predominante nestas áreas é classificado como Latossolo vermelho-escuro distrófico, textura argilosa localizado em relevo ondulado e forte ondulado (Lemos et al., 1973, citado por IBAMA, 1989).

3.2 - ASPECTOS CLIMÁTICOS DAS REGIÕES

Para uma completa caracterização climática das regiões onde se inserem as áreas teste é necessário uma série de dados meteorológicos bem superior a utilizada neste trabalho. Normalmente, os climatologistas utilizam uma série consecutiva de, no mínimo, trinta anos de dados meteorológicos. As variáveis meteorológicas mensais dessas regiões, para o ano de 1989, são apresentadas na tabela 3.2.1. Devido a inexistência de dados meteorológicos para a região de Grão Mogol utilizou-se os dados meteorológicos coletados na estação meteorológica mais próxima localizada no município de Salinas. A visualização gráfica do comportamento de algumas dessas variáveis pode ser observada nas figuras 3.2.1, 3.2.2, 3.2.3, 3.2.4, 3.2.5, 3.2.6 e 3.2.7. Estas figuras representam, na ordem, a temperatura média, a temperatura média das máximas, a temperatura média das mínimas, a precipitação, a umidade relativa, as horas de brilho solar e o comprimento do dia.

TABELA 3.2.1 - VARIÁVEIS CLIMÁTICAS MENSIAIS DAS ÁREAS DE ESTUDO (1989)

Meses (1989)	T.Média Comp. (C°)			T.Média Máx. (C°)			T. Média Min. (C°)			Umíd. Relativa Comp. (%)			Insolação (h)			Precipitação (mm)			
	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF	
Jan.	25,5	23,3	20,4	33,4	29,4	26,5	18,8	18,8	17,5	65	82	78	271	169	176	28	282	98	
Fev.	26,3	23,6	21,7	34,2	29,5	27,5	19,1	19,5	17,6	63	83	75	244	143	206	67	252	122	
Mar.	25,1	23,2	20,3	31,8	30,0	26,4	18,1	20,0	16,1	73	80	76	202	211	221	225	92	120	
Abr.	24,1	21,8	18,1	31,8	29,4	24,0	17,7	17,7	14,4	64	78	77	242	232	172	4	36	102	
Mai	21,9	17,6	14,3	28,6	25,8	20,3	16,1	16,1	10,3	65	78	74	175	229	228	6	23	54	
Jun.	21,5	16,3	12,6	28,5	24,1	18,1	15,5	15,5	9,1	70	82	82	164	160	139	30	24	74	
Jul.	21,7	15,4	10,6	29,3	24,5	16,6	14,9	14,9	6,5	64	74	68	240	207	206	0	75	211	
Ago.	21,9	18,0	13,8	28,3	26,7	19,8	15,9	15,9	9,2	60	71	70	160	256	203	3	24	174	
Set.	24,9	19,3	13,3	32,5	26,1	18,7	17,5	17,5	9,3	58	77	76	218	180	173	14	83	452	
Out.	24,8	20,6	16,5	31,1	28,9	22,9	19,4	19,4	11,4	64	69	67	170	267	226	65	35	154	
Nov.	24,5	21,8	19,5	30,1	28,6	26,0	20,2	20,2	14,1	76	76	91	122	206	246	183	139	93	
Dez.	22,4	23,1	22,4	26,4	29,2	28,8	19,6	19,6	17,4	89	75	66	45	212	253	415	169	160	
Média anual	23,7	20,3	17,0	30,5	27,7	23,0	17,9	17,9	12,7	68	77	75							
Total anual													2253	2472	2449	1039	1273	1814	

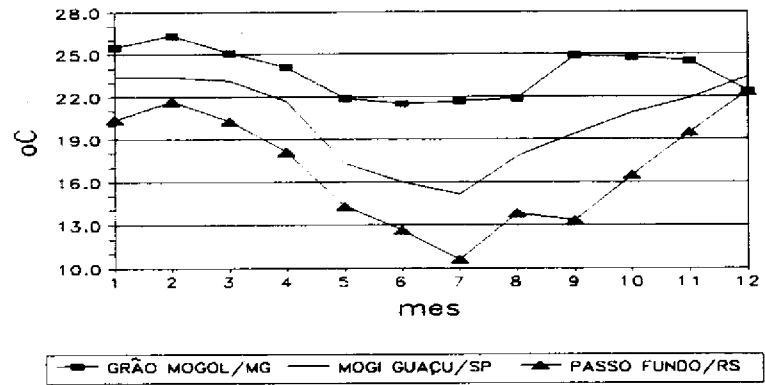


Fig. 3.2.1 - Temperatura média mensal para as três regiões

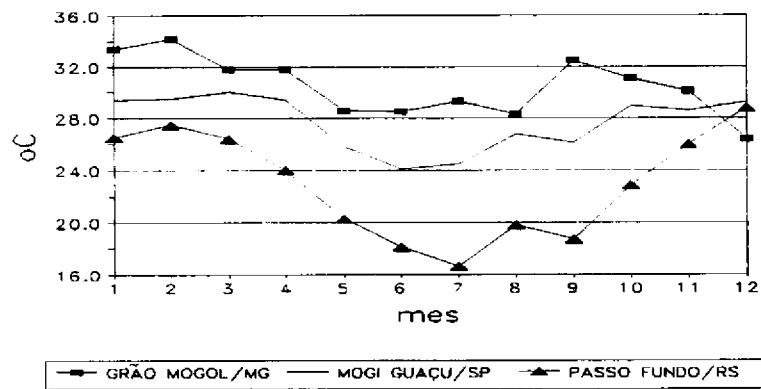


Fig. 3.2.2 - Temperatura média das máximas mensal para as três regiões

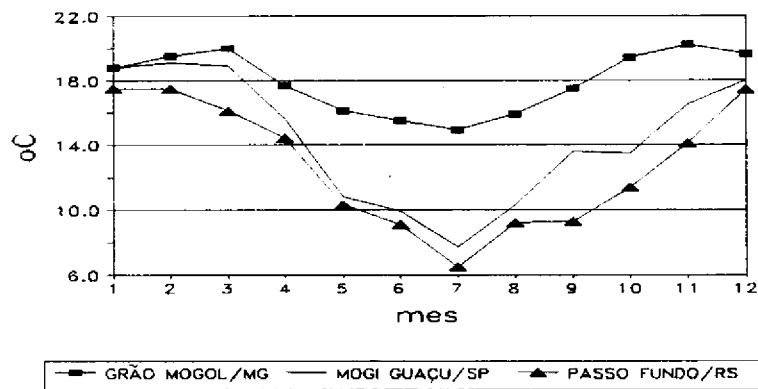


Fig. 3.2.3 - Temperatura média das mínimas mensal para as três regiões

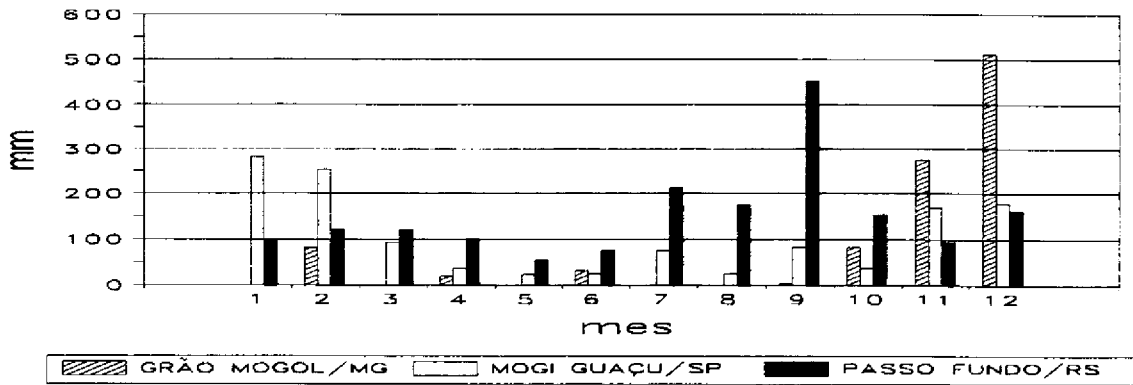


Fig. 3.2.4 - Precipitação mensal para as três regiões

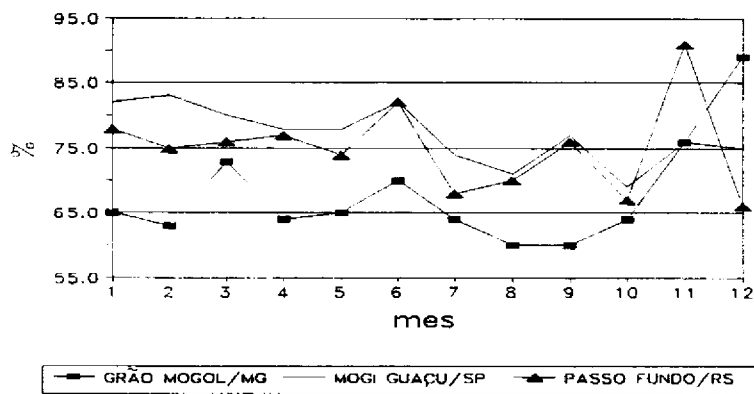


Fig. 3.2.5 - Umidade relativa média mensal para as três regiões

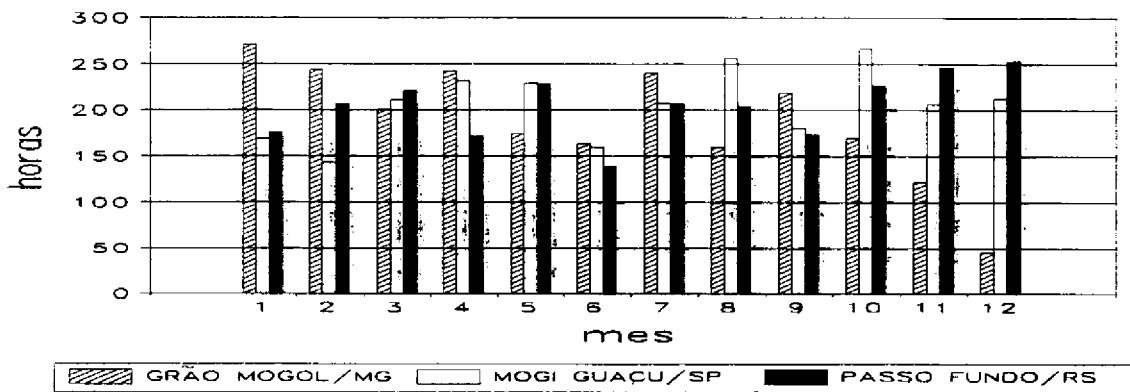


Fig. 3.2.6 - Horas de brilho solar mensal nas três regiões

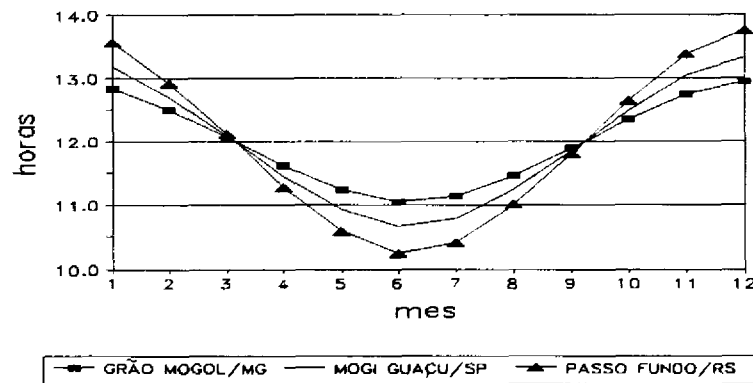


Fig. 3.2.7 - Comprimento do dia nas três regiões

3.3 - DADOS UTILIZADOS

Para a escolha das áreas teste e para a estimativa de alguns parâmetros e condições iniciais necessária para a execução deste trabalho utilizou-se as seguintes fontes de dados auxiliares:

- Cartas topográficas das áreas teste selecionadas na escala de 1:100.000 editadas pelo IBGE;
- Mapa geral das áreas teste com os projetos de reflorestamento e de vegetação natural alocados, acompanhados dos relatórios técnicos;
- Mapas de solos e de aptidão agrícola com os respectivos relatórios técnicos descritivos das unidades mapeadas;
- Dados meteorológicos diários coletados pela rede do DAEE e INEMET, para o ano de 1989, em estações próximas às áreas teste.

Para a execução da parte do trabalho relacionada com o tratamento digital de imagens utilizou-se os seguintes dados orbitais do sensor THEMATIC MAPPER à bordo do satélite Landsat-5:

- Área teste localizada dentro do município de Grão Mogol recoberta pela imagem de 29/06/89, orbita ponto 217/71, canais 3 e 4 e apresentação digital.
- Área teste localizada dentro do município de Mogi Guaçu recoberta pela imagem de 20/07/89, orbita ponto 220/75, canais 3 e 4 e apresentação digital.

- Área teste localizada dentro do município de Passo Fundo recoberta pela imagem de 27/06/87, orbita ponto 220/82N, canais 3 e 4 e apresentação digital.

3.4 - METODOLOGIA

3.4.1 - ANÁLISE DIMENSIONAL DO MODELO

Checou-se a modelagem dos processos físicos e biológicos através de literatura específica e a implementação do modelo Forecos através da análise dimensional das unidades das variáveis utilizadas nas equações do modelo. As variáveis hidrológicas são unidimensionais, dadas em metro (L), como é de costume em estudos hidrológicos. As variáveis de carbono e as de nitrogênio são dadas em kg/ha (ML^{-2}). As condições iniciais, que descrevem cada região e cada ecossistema florestal, referem-se a uma área de 1 ha (L^2). A descrição do modelo Forecos encontra-se no Apêndice A.

3.4.2 - TESTES DE SENSIBILIDADE

Para o início dos testes de sensibilidade bem como da simulação levantou-se as variáveis motrizes meteorológicas primárias e estimou-se ou manteve-se os valores de "default" das condições iniciais e dos parâmetros de entrada do modelo. Os valores de "default" foram extraídos do modelo Forest-BCG (Running e Coughan, 1988). Adotou-se este procedimento para as três áreas de estudo utilizando-se como referência o ano de 1989.

1) Variáveis motrizes meteorológicas primárias e secundárias

As variáveis meteorológicas primárias diárias foram extraídas dos boletins mensais dos postos meteorológicos do INEMET e do DAEE situados o mais próximo possível dos ecossistemas florestais. Para os ecossistemas florestais localizados na região de Grão Mogol utilizou-se os dados meteorológicos coletados na estação meteorológica de Salinas. A relação das variáveis e os procedimentos metodológicos adotados para as estimativas dessas variáveis encontram-se no Apêndice B. As metodologias utilizadas para o cálculo das variáveis meteorológicas secundárias diárias encontram-se no Apêndice A.

2) Parâmetros de entrada

Estimou-se os valores da capacidade de armazenamento de água no solo e do coeficiente de respiração do tronco. Os valores dos demais parâmetros, para as três áreas de estudo, foram fixados conforme os valores da Tabela A.4. Além disso, compilou-se o valor da latitude representativa para cada área teste.

A capacidade de armazenamento de água dos solos depende de características intrínsecas tais como a textura, a estrutura, a densidade, o tipo e o teor de matéria orgânica e a profundidade específica. Em trabalhos de irrigação, a capacidade de armazenamento é determinada a partir das constantes hídricas capacidade de campo e ponto de murcha. A determinação dessas constantes em condições de campo é complicada e suas definições conceituais são consideradas muito simplificadas (Salassier, 1982). Para efeito desta pesquisa a estimativa da capacidade de armazenamento foi realizada apenas em relação a textura e a profundidade específica dos solos. Adotou-se este procedimento em função da escala regional do modelo, da diversidade dos solos existentes e da inexistência das constantes hídricas nos relatórios de mapeamento dos solos.

A profundidade específica do solo determina o volume de terra explorável pelo sistema radicular. Os solos das áreas de estudo apresentam valores superiores a 150 cm. Considerou-se o valor médio de 180 cm para todas as áreas teste (SIF, 1989; Oliveira, 1982 e IBAMA, 1989). A disponibilidade total de água para diferentes texturas comporta-se qualitativamente de acordo com a sequência silte grosso > silte fino > argila > areia fina > areia grossa. Salassier (1982) apresenta uma quantificação aproximada da capacidade de armazenamento de água no solo para diferentes texturas. Considerando-se a textura predominantemente argilosa para os solos das áreas teste obtêm-se um valor aproximado de 1.4 mm/cm de solo ou 14 m³/ha. Multiplicando-se os dois valores estimados obtêm-se o valor da capacidade de armazenamento de água no solo de 2520 m³/ha. Adotou-se o valor de 2500 m³/ha.

Os valores de latitude foram extraídos de cartas topográficas das áreas de estudo. Os valores utilizados foram de -16°23', -22°18'e -28°19', respectivamente para as áreas teste de Grão Mogol/MG, Mogi Guaçu/MG e Passo Fundo/RS.

O coeficiente de respiração do tronco foi sintonizado para fornecer uma respiração de manutenção de cerca de 23% da fotossíntese bruta, para a região de Passo Fundo, considerando o valor do índice de área foliar do dossel igual a seis. Nobel (1991) estima o valor da respiração de manutenção de plantas, para regiões temperadas, como sendo entre 20% e 50% do valor da fotossíntese bruta produzida.

3) Condições iniciais ou variáveis de estado

Estimou-se o valor do conteúdo de água no solo e o conteúdo de carbono existente nas partes do dossel para o primeiro dia de simulação. Os valores das demais variáveis foram zeradas para a inicialização do modelo.

O conteúdo de água no solo para o dia 01/01/89 foi estimado em 2500 m³/ha para as três regiões que é o valor máximo da capacidade de armazenamento de água no solo. Este valor foi obtido utilizando-se o balanço hídrico de Thornthwait-Matter de 1955 (resultados não apresentados).

Os valores do conteúdo de carbono existente nas folhas, tronco/galhos e raízes foram respectivamente de 2400, 50000 e 7500 kg de carbono/ha. Estes valores são representativos para os ecossistemas de coníferas situados na América do Norte (Running e Coughan, 1988). Não existem dados desta natureza, disponíveis na literatura, sobre os ecossistemas florestais selecionados no Brasil.

Os testes de sensibilidade são potencialmente úteis tanto na formulação quanto no refinamento, calibração e validação de um modelo.

O teste de sensibilidade convencional é realizado através de modificações no valor de uma variável do modelo enquanto que o restante das variáveis permanecem com os valores inalterados. Esta variável pode ser uma condição inicial ou um parâmetro de entrada. Realiza-se a avaliação do teste através do registro das mudanças ocorridas nos resultados de saída do modelo. Se pequenas mudanças em uma determinada variável produz modificações substanciais em uma determinada saída do modelo entende-se que esta saída é sensível à esta variável. Este tipo de informação é útil para estabelecer-se uma ordem prioritária para a coleta das variáveis e o grau de esforço e de precisão necessário para a estimativa da variável uma vez que muitas delas são estimadas ou compiladas de literatura referente a ecossistemas semelhantes. Além disso é uma das melhores maneiras de sentir como o modelo opera revelando relações funcionais dentro do modelo (Gardner, 1983).

O teste de sensibilidade envolvendo modificações em mais de uma variável ao mesmo tempo torna-se impraticável de se analisar quando o número de variáveis é elevado em função do número de combinações possíveis. Além disso, os custos de computação tornam-se proibitivos (Gardner, 1983). Diante dessa limitação procedeu-se a perturbação individual das variáveis do modelo Forecos, para cada uma das áreas teste, com uma ordem de variação de mais ou menos 10% do valor estimado ou compilado. Esta variação de mais ou menos 10% foi ainda subdividida em intervalos de 2% havendo a simulação para cada intervalo obtido para se observar a tendência do comportamento das saídas do modelo. Os testes foram feitos com o valor do índice de área foliar fixado em seis. As saídas do modelo foram normalizadas para facilitar a análise dos resultados.

3.4.3 - SIMULAÇÃO DAS VALORES DE ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Realizou-se a simulação dos valores de índice de área foliar com valores presumíveis de ocorrência no mundo real. Os valores utilizados para os ecossistemas florestais hipotéticos foram números inteiros compreendidos entre 3 e 14 (IAF=3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13 e 14). Estes valores são realistas para o bioma de florestas de coníferas (Spanner et al., 1990). As saídas anual e mensal do modelo foram registradas graficamente para as três áreas teste. Para a região de Grão Mogol, devido a diferença de altitude entre a área onde se localiza os povoamentos florestais e a estação meteorológica de Salinas onde foram coletados os dados meteorológicos, fez-se também a simulação dos valores de IAF utilizando os dados de temperatura corrigida (Apêndice C).

3.4.4 - TRATAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Para o tratamento das imagens digitais utilizou-se o Sistema de Tratamento de Imagens (SITIM), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), e o Sistema Interativo de Tratamento de Imagens de Satélite (SISSAT), desenvolvido pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (CETEC) (Hadad, 1992). Adotou-se os seguintes procedimentos:

- a) Leitura das imagens das áreas teste de Grão Mogol/MG e Mogi Guaçu/SP registradas em fitas CCTs
- b) Geração de imagens reflectância dos canais 3 e 4 conforme procedimentos descritos em Markam e Barker (1986). Para isso utilizou-se o programa específico implementado no SITIM.

- c) Cálculo dos índices de vegetação Razão Simples e Diferença Normalizada para cada pixel à partir das imagens reflectância dos canais 3 e 4. Geração das imagens índice de vegetação (SISSAT).
- d) Visualização das imagens reflectância dos canais 3, 4 e dos índices de vegetação na tela do monitor de alta resolução do SISSAT. Delimitação das áreas plantadas com coníferas em cada uma das imagens à partir de informações obtidas em relatórios técnicos e mapas das áreas reflorestadas.
- e) Aquisição dos histogramas das áreas delimitadas para cada imagem utilizada. Geração de máscaras para cada imagem ressaltando o interior das áreas delimitadas.
- f) Aplicação da máscara gerada em cada imagem e classificação manual dos níveis de cinza no interior das áreas delimitadas nas imagens.
- g) Registro fotográfico das imagens classificadas

CAPÍTULO 4

RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - TESTES DE SENSIBILIDADE

Os resultados obtidos nos testes de sensibilidade dos parâmetros e das condições iniciais, para as regiões de Grão Mogol/MG, Mogi Guaçu/SP e Passo Fundo/RS, são apresentados nas tabelas 4.1.1 e 4.1.2. Nestas tabelas pode-se identificar as variáveis que requerem maior precisão no processo de medição ou de estimativa. Apresenta-se unicamente os resultados das perturbações das variáveis incrementadas em mais ou menos 10% de seu valor inicial. Não são apresentados os resultados das simulações intermediárias com as variáveis incrementadas sucessivamente de 2% até atingir aos 10%. Entretanto, nestas simulações intermediárias observou-se que as saídas do modelo sempre apresentaram uma mesma tendência de comportamento. Para uma melhor visualização apresentar-se-á separadamente os resultados do ciclo hidrológico e do ciclo do carbono. Os valores apresentados nas tabelas são percentuais e indicam o sentido positivo ou negativo da variação de 10% no valor das variáveis.

4.1.1 - CICLO HIDROLÓGICO

As principais saídas do ciclo hidrológico do modelo Forecos são sensíveis à condição inicial e aos parâmetros listados na tabela 4.1.1. Nota-se na tabela que todos os componentes do ciclo hidrológico são mais sensíveis às perturbações realizadas no valor do índice de área foliar. Excetuando-se a transpiração, as perturbações nesta variável tendem a ser mais acentuadas na região de Grão Mogol seguida da região de Mogi Guaçu.

A evaporação é particularmente sensível às modificações no valor do coeficiente de interceptação (P4). O aumento no valor deste coeficiente provoca um aumento maior no processo de evaporação para a região de Grão Mogol. Tal fato está associado a um aumento na quantidade de precipitação que fica retida nas acículas devido ao processo de interceptação. Nesta região a quantidade interceptada disponível para a evaporação é mais limitada tanto pela quantidade anual da precipitação quanto pela sua distribuição. Para a região de Passo Fundo o albedo da superfície (P8) também é um parâmetro significativo em função da menor disponibilidade de radiação.

A transpiração é mais sensível às modificações no valor da condutância máxima de água no dossel (P11). Na região de Passo Fundo a sensibilidade é diretamente correlacionada indicando uma ausência de estresse hídrico.

TABELA 4.1.1 - RESULTADO DOS TESTES DE SENSIBILIDADE COM +/- 10% DE VARIAÇÃO NAS CONDIÇÕES INICIAIS E NOS PARÂMETROS (CICLO HIDROLÓGICO)

SAÍDAS DO MODELO (CICLO HIDROLÓGICO)		EVAPORAÇÃO			TRANSPIRAÇÃO			ESCOAMENTO		
VARIÁVEL	%	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF
E(2)	-10	-	-	-	-1	0	0	-8	-8	-2
Conteúdo de água no solo	+10	-	-	-	0	0	0	+11	+8	+2
P(02)	-10	-	-	-	-1	-1	-1	+2	+1	0
Coefficiente de extinção da luz no dossel	+10	-	-	-	+1	+1	+1	-2	-1	-1
P(03)	-10	-	-	-	-4	-1	0	+21	+8	+2
Capac. armazenamento de água no solo	+10	-	-	-	+3	+1	0	-18	-8	-2
P(04)	-10	-8	-6	-4	-	-	-	+6	+3	+1
Coefficiente de interceptação	+10	+7	+5	+2	-	-	-	-6	-2	0
P(08)	-10	0	+1	+2	-	-	-	-1	-1	-1
Albedo da superfície	+10	0	-1	-3	-	-	-	+1	+1	+1
P(09)	-10	-	-	-	-2	-3	-4	+5	+2	+3
Potencial de água na folha (LWP)	+10	-	-	-	+2	+3	+4	-6	-2	-3
P(11)	-10	-	-	-	-5	-7	-10	+13	+8	+6
Condutância máxima de água no dossel	+10	-	-	-	+5	+6	+10	-12	-5	-6
P(12)	-10	-	-	-	0	+1	+3	-1	-2	-2
LWP no fechamento estomatal	+10	-	-	-	0	-1	-2	+1	+1	+2
P(13)	-10	-	-	-	+3	+2	+4	-9	-2	-2
Decliv. condutância x déficit umidade absoluta	+10	-	-	-	-3	-2	-4	+9	+2	+3
Índice de área foliar	-10	-8	-6	-4	-5	-8	-11	+21	+16	+7
(IAF)	+10	+7	+5	+2	+5	+7	+11	-19	-9	-7

O escoamento é mais sensível, nas regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu, às perturbações no valor da capacidade de armazenamento de água no solo (P3). Na região de Passo Fundo, o escoamento é mais sensível às modificações no valor da condutância máxima de água no dossel (P11).

4.1.2 - CICLO DO CARBONO

As condições iniciais e os parâmetros do modelo que influenciam no ciclo do carbono são listados na tabela 4.1.2.

As perturbações no valor do índice de área foliar tendem a provocar um maior incremento na fotossíntese líquida e na produtividade primária líquida para a região de Passo Fundo seguida da região de Mogi Guaçu.

A fotossíntese líquida e a produtividade primária líquida são mais sensíveis às modificações no valor da temperatura máxima fotossintética (P18) nas regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu. Nestas regiões, em particular Grão Mogol, a temperatura máxima diária algumas vezes se aproxima do valor deste parâmetro induzindo a uma diminuição na atividade fotossintética. Na região de Passo Fundo, este fato acontece com menor frequência e estas saídas são mais sensíveis às modificações no valor do índice de área foliar e no valor da condutância máxima de CO₂ no mesófilo (P16). A capacidade de armazenamento de água no solo P(3) também é um parâmetro a ser considerado para a região de Grão Mogol. Este último resultado observado indica uma limitação à atividade fotossintética devido a disponibilidade de água no solo.

A respiração de manutenção é independente do valor do índice de área foliar e depende somente dos estoques iniciais de carbono existentes no tronco/galhos (E9) e nas raízes (E10) e de seus coeficientes de respiração (P20 e P21). A sensibilidade destes parâmetros é igual para as três regiões.

O ciclo do carbono e o ciclo hidrológico são insensíveis à variação de mais ou menos 10% nos parâmetros ponto de compensação fotossintético da luz (P14), 0,5 da fotossíntese máxima (P15) e fração de concentração do nitrogênio foliar (P26). Este resultado é um indicador de que o cálculo da condutância mínima de CO₂ do mesófilo foliar (I11) está sendo feito unicamente em função da temperatura nessas três regiões.

TABELA 4.1.2 - RESULTADO DO TESTE DE SENSIBILIDADE COM +/- 10% DE VARIACÃO NAS CONDIÇÕES INICIAIS E NOS PARAMETROS (CICLO DO CARBONO)

SAÍDAS DO MODELO (CICLO DO CARBONO)		FOTOSÍNTESE LÍQUIDA			RESPIRAÇÃO DE MANUTENÇÃO			PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUID.		
VARIÁVEL	%	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF
E(08)	-10	+1	0	0	-	-	-	+1	0	0
Carbono existente nas folhas	+10	-1	0	0	-	-	-	-1	0	0
E(09)	-10	-	-	-	-3	-3	-3	+4	+1	+1
Carbono existente no conjunto tronco/galhos	+10	-	-	-	+3	+3	+3	-4	-1	-1
E(10)	-10	-	-	-	-5	-5	-5	+6	+2	+2
Carbono existente nas raízes	+10	-	-	-	+5	+5	+5	-6	-2	-2
P(02)	-10	0	0	-1	-	-	-	+1	0	-1
Coefficiente extinção luz no dossel	+10	0	0	+1	-	-	-	-1	0	+1
P(03)	-10	-3	0	0	-	-	-	-5	0	0
Capacidade de armazenamento de água no solo	+10	+3	0	0	-	-	-	+6	0	0
P(04)	-10	-	-	-	-	-	-	+1	0	0
Coefficiente de interceptação	+10	-	-	-	-	-	-	-1	0	0
P(08)	-10	0	0	+2	-	-	-	-1	0	+3
Albedo da superfície	+10	0	0	-2	-	-	-	+1	0	-3
P(09)	-10	+1	0	0	-	-	-	+2	0	0
Potencial de água na folha (LWP)	+10	-1	0	0	-	-	-	-2	0	0
P(11)	-10	+2	-1	-1	-	-	-	+5	-1	-1
Condutância máxima de água no dossel	+10	-2	0	+1	-	-	-	-4	0	+1
P(12)	-10	-	-	-	-	-	-	-1	0	0
LWP no fechamento estomatal	+10	-	-	-	-	-	-	0	0	0

(continua)

TABELA 4.1.2 - conclusão

SAÍDAS DO MODELO (CICLO DO CARBONO)		FOTOSSÍNTESE LÍQUIDA			RESPIRAÇÃO DE MANUTENÇÃO			PRODUTIVIDADE PRIMÁRIA LÍQUID.		
VARIÁVEL	%	GM	MG	PF	GM	MG	PF	GM	MG	PF
P(13)	-10	-1	0	0	-	-	-	-3	0	0
Decliv. condutância de CO ₂ com redução umidade	+10	+1	0	0	-	-	-	+3	0	0
P(15)	-10	0	0	+1	-	-	-	0	0	+1
0.5 fotossíntese máxima	+10	0	0	-1	-	-	-	0	0	-1
E(16)	-10	-9	-10	-10	-	-	-	-19	-13	-13
Condutância máxima de CO ₂ no mesófilo	+10	+9	+9	+9	-	-	-	+19	+13	+12
E(18)	-10	-25	-14	-8	-	-	-	-53	-19	-10
Temp. máxima fotossintética	+10	+14	+7	+4	-	-	-	+30	+10	+5
E(19)	-10	+1	0	0	-	-	-	+1	0	0
Coefficiente respiração foliar	+10	-1	0	0	-	-	-	-1	0	0
P(20)	-10	-	-	-	-5	-5	-5	+6	+2	+2
Coefficiente respiração tronco	+10	-	-	-	+5	+5	+5	-6	-2	-2
P(21)	-10	-	-	-	-5	-5	-5	+6	+2	+2
Coefficiente respiração raízes	+10	-	-	-	+5	+5	+5	-6	-2	-2
Índice de área foliar	-10	-6	-10	-11	-	-	-	-13	-14	-14
(IAF)	+10	+6	+10	+11	-	-	-	+13	+14	+15

Nas análises de sensibilidade apresentadas, tanto para o ciclo hidrológico quanto para o ciclo do carbono, deve-se ressaltar que os testes foram realizados à partir de perturbações individuais de cada parâmetro e condição inicial. Desta forma, deve-se ter em mente que, numa situação real, pode haver a modificação concomitante de mais de uma variável e que as variáveis de maior sensibilidade, detectáveis nos testes de sensibilidade do modelo, podem variar de ano para ano em cada localidade, dependendo das condições climáticas, e podem variar também dependendo do valor do IAF.

4.2 - SIMULAÇÃO DOS VALORES DO ÍNDICE DE ÁREA FOLIAR

Para facilitar a visualização e a discussão dos resultados gerados na simulação apresenta-se separadamente as saídas dos componentes do ciclo hidrológico e do ciclo do carbono.

Apresenta-se, inicialmente, os resultados anuais do ciclo hidrológico e do carbono para todos os valores de índice de área foliar utilizados na simulação. Posteriormente, apresenta-se os resultados mensais dos principais componentes dos ciclos modelados para a simulação com um ecossistema florestal que apresente um valor de índice de área foliar igual a seis.

Nos resultados anuais pretende-se observar os padrões gerais de distribuição dos componentes do ciclos modelados para os diferentes valores de índice de área foliar. Nos resultados mensais pretende-se observar a influência das condições ambientais reinantes em cada área, no ano de 1989, nos ciclos modelados.

4.2.1 - CICLO HIDROLÓGICO ANUAL

A distribuição quantitativa do ciclo hidrológico entre os processos de evaporação, transpiração e escoamento apresentou dois padrões básicos (figura 4.2.1.1 e tabela 4.2.1.1).

CICLO HIDROLÓGICO

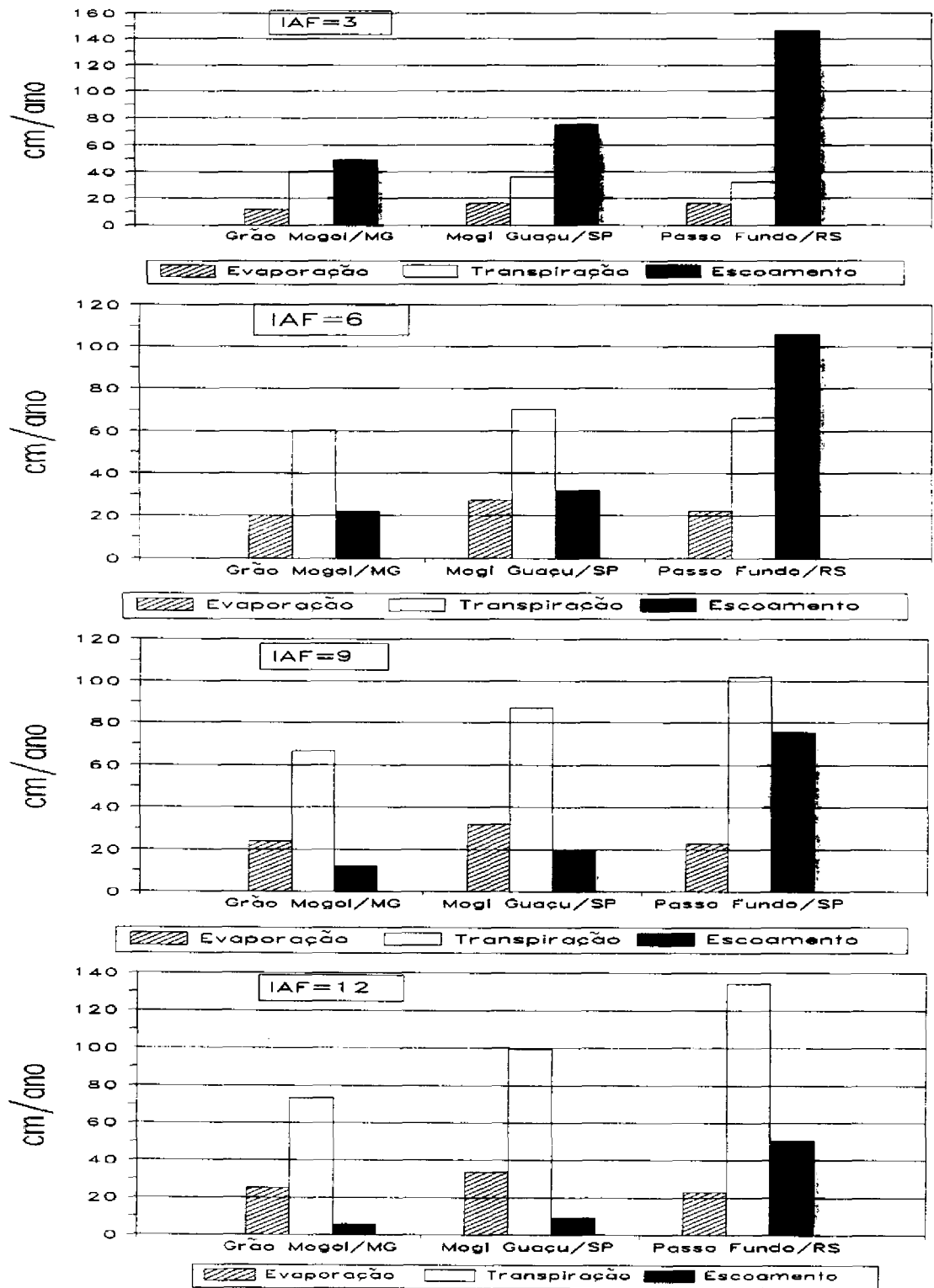


Fig. 4.2.1.1 - Distribuição quantitativa do ciclo hidrológico para as três regiões com IAF=3, 6, 9 e 12

TABELA 4.2.1.1 - TAXAS ANUAIS DOS PROCESSOS, CALCULADAS PELO MODELO FORECOS, PARA AS TRÊS ÁREAS DE ESTUDO, E PARA JACKSONVILLE-USA CALCULADAS PELO MODELO FOREST-BCG (RUNNING E COUGHAN, 1988) COM DIFERENTES VALORES DE IAF H₂O(cm), C(T/ha)

	GRÃO MOGOL (GM)	MOGI GUAÇU (MG)	PASSO FUNDO (PF)	JACKSONVILLE (JK)
CONDIÇÕES INICIAIS				
Conteúdo de água solo	25,0	25,0	25,0	23,0
Precipitação	1039,0	1273,0	1814,0	1244,0
Latitude	- 16,1	- 22,2	- 28,2	+30,0
Temperatura média máximas	30,5	27,7	23,0	31,3
Temperatura média mínimas	17,9	14,3	12,7	4,5
IAF=3				
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	11,56	15,99	15,93	11,9
Transpiração	41,24	35,83	32,15	33,3
Escoamento	48,97	75,28	146,2	80,6
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	9,60	11,78	10,41	12,5
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	6,5
Respiração de crescimento	0,22	1,64	1,70	1,9
Produtividade primária líquida	0,44	3,29	3,42	4,1
Prod. primária folhas	0,11	0,80	0,83	1,0
Prod. primária tronco	0,16	1,21	1,25	1,5
Prod. primária raízes	0,17	1,28	1,33	1,6
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,23	0,33	0,32	0,38
NPP/Transpiração	0,01	0,09	0,11	0,12
Taxa de decomposição	41,47	40,63	37,43	35,00

(continua)

TABELA 4.2.1.1- Continuação

IAF=4	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	14,66	20,17	18,65	-
Transpiração	49,04	48,40	43,21	-
Escoamento	38,26	58,53	132,42	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	12,76	15,92	14,28	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	1,27	3,02	2,99	-
Produtividade primária líquida	2,54	6,05	6,00	-
Prod. primária folhas	0,62	1,47	1,46	-
Prod. primária tronco	0,93	2,22	2,20	-
Prod. primária raízes	0,99	2,36	2,34	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,26	0,33	0,33	-
NPP/Transpiração	0,05	0,13	0,14	-
Taxa de decomposição	50,76	54,92	49,19	-
IAF=5	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	17,47	23,91	20,66	-
Transpiração	54,70	60,29	54,52	-
Escoamento	29,93	42,90	119,09	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	15,09	20,02	18,24	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	2,04	4,38	4,31	-
Produtividade primária líquida	4,10	8,79	8,64	-
Prod. primária folhas	1,00	2,14	2,10	-
Prod. primária tronco	1,51	3,23	3,17	-
Prod. primária raízes	1,60	3,42	3,37	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,28	0,33	0,33	-
NPP/Transpiração	0,07	0,15	0,16	-
Taxa de decomposição	57,98	68,25	60,56	-

(continua)

TABELA 4.2.1.1- Continuação

IAF=6	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	20,03	26,93	22,16	17,50
Transpiração	60,14	70,41	66,08	61,90
Escoamento	22,09	32,23	106,04	48,10
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	16,91	24,05	22,29	21,20
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	6,50
Respiração de crescimento	2,65	5,72	5,65	4,90
Produtividade primária líquida	5,32	11,48	11,34	9,80
Prod. primária folhas	1,29	2,79	2,76	2,40
Prod. primária tronco	1,95	4,21	4,16	3,60
Prod. primária raízes	2,07	4,47	4,42	3,80
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,28	0,34	0,34	0,34
NPP/Transpiração	0,09	0,16	0,17	0,16
Taxa de decomposição	64,81	79,46	71,70	64,0
IAF=7	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	22,19	28,93	22,73	-
Transpiração	63,60	77,93	77,90	-
Escoamento	16,70	27,26	93,66	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	18,34	27,91	26,41	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,12	7,00	7,02	-
Produtividade primária líquida	6,27	14,05	14,10	-
Prod. primária folhas	1,53	3,42	3,43	-
Prod. primária tronco	2,30	5,16	5,17	-
Prod. primária raízes	2,44	5,47	5,49	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,29	0,36	0,34	-
NPP/Transpiração	0,10	0,18	0,18	-
Taxa de decomposição	69,60	87,58	82,26	-

(continua)

TABELA 4.2.1.1- Continuação

IAF=8	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	23,38	30,70	22,88	-
Transpiração	65,05	83,24	90,06	-
Escoamento	14,38	22,88	84,29	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	18,91	31,35	30,53	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,31	8,15	8,39	-
Produtividade primária líquida	6,65	16,35	16,85	-
Prod. primária folhas	1,62	3,98	4,10	-
Prod. primária tronco	2,44	6,00	6,18	-
Prod. primária raízes	2,59	6,37	6,56	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,29	0,38	0,34	-
NPP/Transpiração	0,10	0,20	0,19	-
Taxa de decomposição	71,86	93,61	92,76	-
IAF=9	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	24,17	31,99	22,88	17,80
Transpiração	66,69	87,22	102,21	88,70
Escoamento	12,26	19,70	75,62	22,90
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	19,53	33,89	34,62	26,90
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	6,50
Respiração de crescimento	3,52	8,99	9,75	6,80
Produtividade primária líquida	7,06	18,05	19,58	13,60
Prod. primária folhas	1,72	4,39	4,77	3,30
Prod. primária tronco	2,59	6,62	7,19	5,00
Prod. primária raízes	2,75	7,03	7,63	5,30
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,29	0,39	0,34	0,30
NPP/Transpiração	0,11	0,21	0,19	0,15
Taxa de decomposição	73,93	98,12	103,13	87,00

(continua)

TABELA 4.2.1.1- Continuação

IAF=10	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	24,73	32,84	22,88	-
Transpiração	68,54	91,16	113,94	-
Escoamento	10,22	16,58	67,08	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	20,06	35,53	38,70	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,70	9,53	11,11	-
Produtividade primária líquida	7,42	19,14	22,30	-
Prod.primária folhas	1,81	4,66	5,43	-
Prod.primária tronco	2,72	7,03	8,18	-
Prod.primária raízes	2,89	7,46	8,69	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,29	0,39	0,34	-
NPP/Transpiração	0,11	0,21	0,20	-
Taxa de decomposição	75,98	102,20	113,14	-
IAF=11	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	25,10	33,43	22,88	-
Transpiração	70,68	95,17	124,78	-
Escoamento	8,11	13,14	58,60	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	20,41	36,85	42,72	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,81	9,97	12,44	-
Produtividade primária líquida	7,65	20,02	24,98	-
Prod. primária folhas	1,86	4,87	6,08	-
Prod.primária tronco	2,81	7,35	9,17	-
Prod.primária raízes	2,98	7,80	9,73	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,29	0,39	0,34	-
NPP/Transpiração	0,11	0,21	0,20	-
Taxa de decomposição	78,13	106,12	122,38	-

(continua)

TABELA 4.2.1.1- Continuação

IAF=12	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	25,27	33,75	22,88	-
Transpiração	73,14	99,47	134,21	-
Escoamento	5,95	9,28	50,43	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	20,68	38,04	46,63	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,90	10,37	13,74	-
Produtividade primária líquida	7,83	20,82	27,59	-
Prod. primária folhas	1,91	5,07	6,72	-
Prod. primária tronco	2,87	7,64	10,13	-
Prod. primária raízes	3,05	8,11	10,75	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,28	0,38	0,35	-
NPP/Transpiração	0,11	0,21	0,21	-
Taxa de decomposição	80,37	110,06	130,43	-
IAF=13	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	25,31	33,82	22,88	-
Transpiração	75,96	102,41	141,71	-
Escoamento	3,67	6,80	43,46	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	20,85	38,68	50,30	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,96	10,58	14,97	-
Produtividade primária líquida	7,95	21,25	30,05	-
Prod. primária folhas	1,93	5,17	7,31	-
Prod. primária tronco	2,92	7,80	11,03	-
Prod. primária raízes	3,10	8,28	11,70	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,27	0,38	0,35	-
NPP/Transpiração	0,10	0,21	0,21	-
Taxa de decomposição	82,81	112,63	136,82	-

(continua)

TABELA 4.2.1.1- Conclusão

IAF=14	(GM)	(MG)	(PF)	(JK)
CICLO HIDROLÓGICO				
Evaporação	25,31	33,82	22,88	-
Transpiração	79,10	104,03	147,80	-
Escoamento	1,90	5,61	37,68	-
CICLO DO CARBONO				
Fotossíntese líquida do dossel	20,70	38,47	53,53	-
Respiração de manutenção	8,94	6,85	5,29	-
Respiração de crescimento	3,91	10,51	16,04	-
Produtividade primária líquida	7,85	21,11	32,20	-
Prod. primária folhas	1,91	5,14	7,84	-
Prod. primária tronco	2,88	7,75	11,82	-
Prod. primária raízes	3,06	8,22	12,54	-
EFICIÊNCIA USO DA ÁGUA				
PSN/Transpiração	0,26	0,37	0,36	-
NPP/Transpiração	0,10	0,20	0,22	-
Taxa de decomposição	85,49	114,01	142,02	-

O primeiro padrão é característico das regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu. Nestas regiões a precipitação anual foi inferior a 1300 mm e concentrou-se principalmente no período de duração da primavera e do verão. Este padrão mostra uma predominância do processo de escoamento sobre os demais somente nos valores mais baixos de índice de área foliar (IAF=3). Com o incremento no valor do IAF o processo de transpiração passa a predominar enquanto que o escoamento se reduz gradativamente sendo inferior também ao processo de evaporação à partir do IAF=7.

O segundo padrão é característico da região de Passo Fundo. Nesta região, a precipitação anual foi superior a 1800 mm, concentrada principalmente no período de duração do inverno e da primavera, e apresentou uma melhor distribuição durante as outras estações do que nas demais regiões. Este padrão mostra a predominância do escoamento até o IAF=7. À partir deste valor a transpiração passa a predominar com um decréscimo gradual no processo de escoamento embora este último sempre se mantenha superior ao processo de evaporação.

Na figura 4.2.1.2 observa-se o comportamento do processo de evaporação anual. Com o aumento no valor do IAF ocorre, nas três regiões, um aumento no processo de evaporação devido a uma maior quantidade de precipitação que fica retida nas acículas e disponível para a evaporação. Entretanto, na região de Passo Fundo essa maior retenção ocorre no período de menor disponibilidade de radiação que passa a restringir o processo já à partir do IAF=7. Nas demais regiões a maior retenção da precipitação ocorre no período de maior disponibilidade de radiação e a restrição ao processo ocorre à partir do IAF=11 em ambas as regiões embora Mogi Guaçu sempre apresente taxas mais elevadas de evaporação.

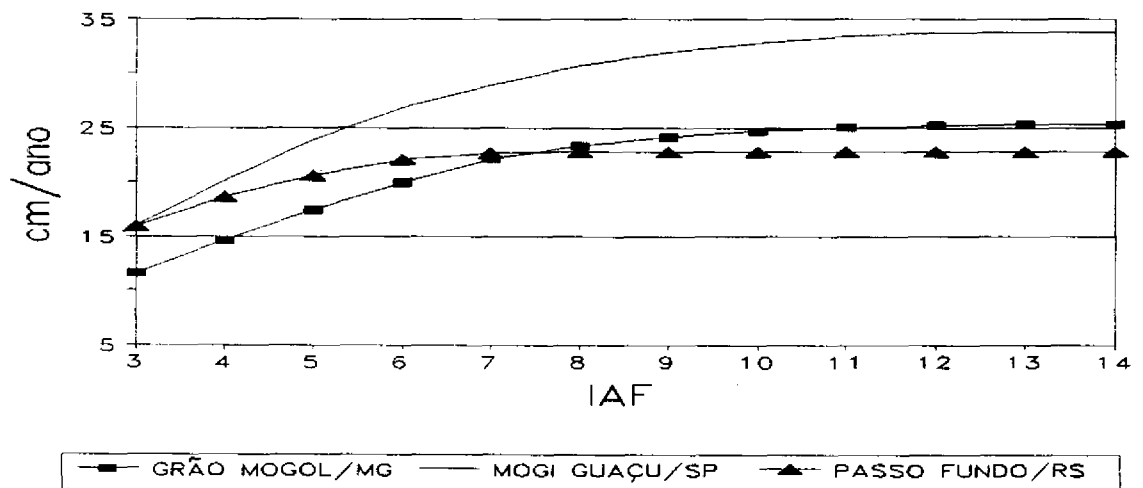


Fig. 4.2.1.2 - Evaporação anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

Observa-se na figura 4.2.1.3 o comportamento do processo de transpiração anual com o aumento do IAF. Para a região de Passo Fundo, o comportamento da curva é praticamente linear até o IAF próximo de 12 e para a região de Mogi Guaçu este padrão de linearidade é observado até o IAF=6. À partir destes valores observa-se uma restrição ambiental e fisiológica ao processo. Para a região de Grão Mogol não se observa este padrão de comportamento, as restrições ao processo de transpiração são maiores e se manifestam à partir dos valores de IAF próximos a 5.

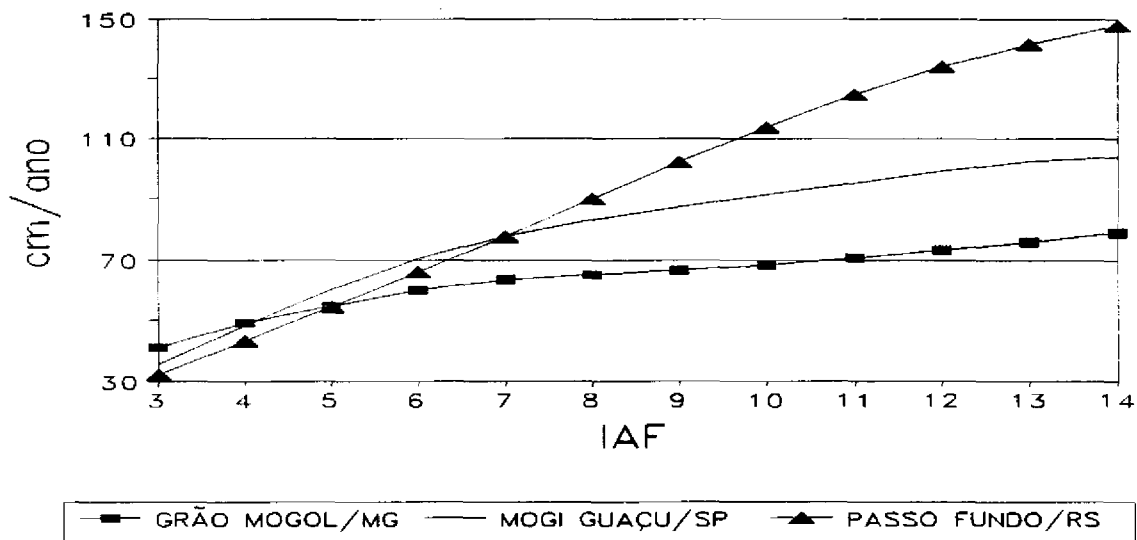


Fig. 4.2.1.3 - Transpiração anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

Na figura 4.2.1.4 observa-se o comportamento do processo de escoamento anual para as três regiões. A região de Passo Fundo apresenta, em relação às demais regiões, uma diferenciação acentuada em termos quantitativos do processo de escoamento embora o padrão das curvas seja similar. O padrão apresentado comportou-se conforme o esperado, uma vez que, com o aumento do índice de área foliar ocorre um aumento na taxa de evapotranspiração e conseqüentemente uma redução no processo de escoamento. A magnitude absoluta do processo nas três regiões está diretamente relacionada com o total e a distribuição da precipitação anual.

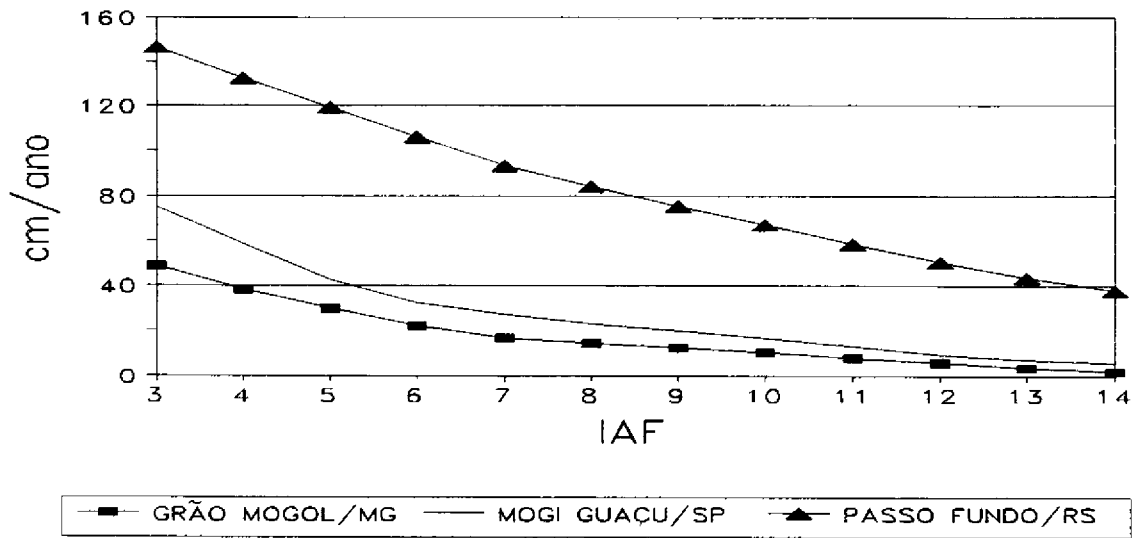


Fig. 4.2.1.4 - Escoamento anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

4.2.2 - CICLO ANUAL DO CARBONO

A resposta do aumento no valor do IAF na fotossíntese líquida anual foi variável nas três regiões (figura 4.2.2.1).

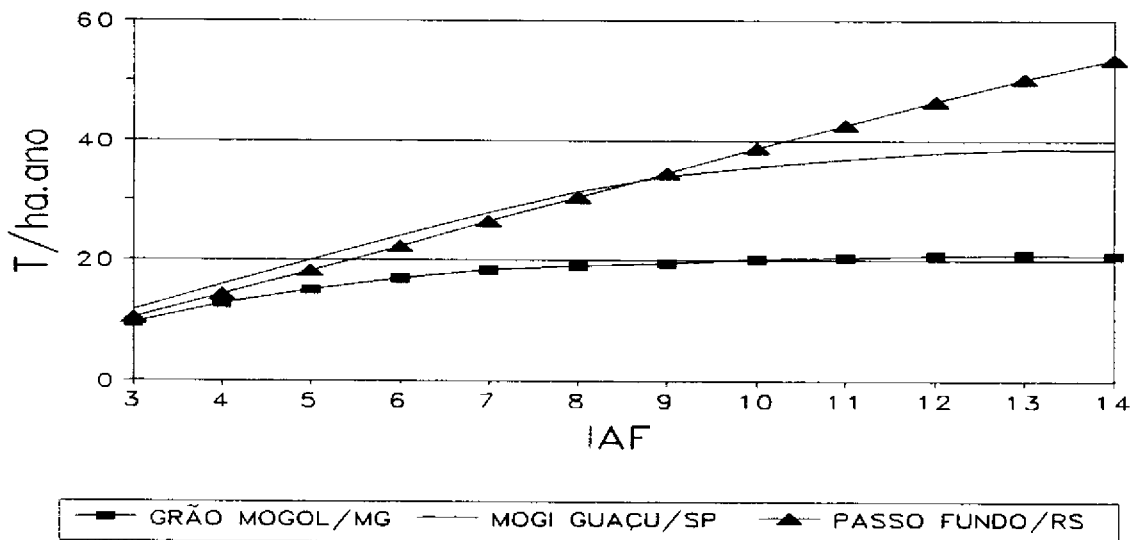


Fig. 4.2.2.1 - Fotossíntese líquida anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

Na região de Passo Fundo, o aumento na fotossíntese líquida foi proporcional ao aumento no valor do IAF. Esta região apresentou temperaturas mais amenas e uma maior disponibilidade de água durante todo o ano. Nas regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu a atividade fotossintética é limitada diferencialmente pela disponibilidade de água. Na região de Grão Mogol a limitação aconteceu à partir dos valores de IAF próximos a 7 enquanto que em Mogi Guaçu, a limitação ocorreu à partir do IAF=8-9. Para valores de IAF inferiores a 8, as condições ambientais foram ligeiramente mais favoráveis à produção fotossintética líquida anual na região de Mogi Guaçu do que na região de Passo Fundo. Quando se analisa a produtividade primária líquida (figura 4.2.2.2) a fixação de carbono, nestas duas últimas regiões, tende a ser a mesma em função do maior consumo de carbono na região de Mogi Guaçu, utilizado no processo de respiração de manutenção do dossel (figura 4.2.2.3). Na região de Passo Fundo a produtividade primária líquida é sempre superior as demais regiões para valores de índice de área foliar maiores do que 8.

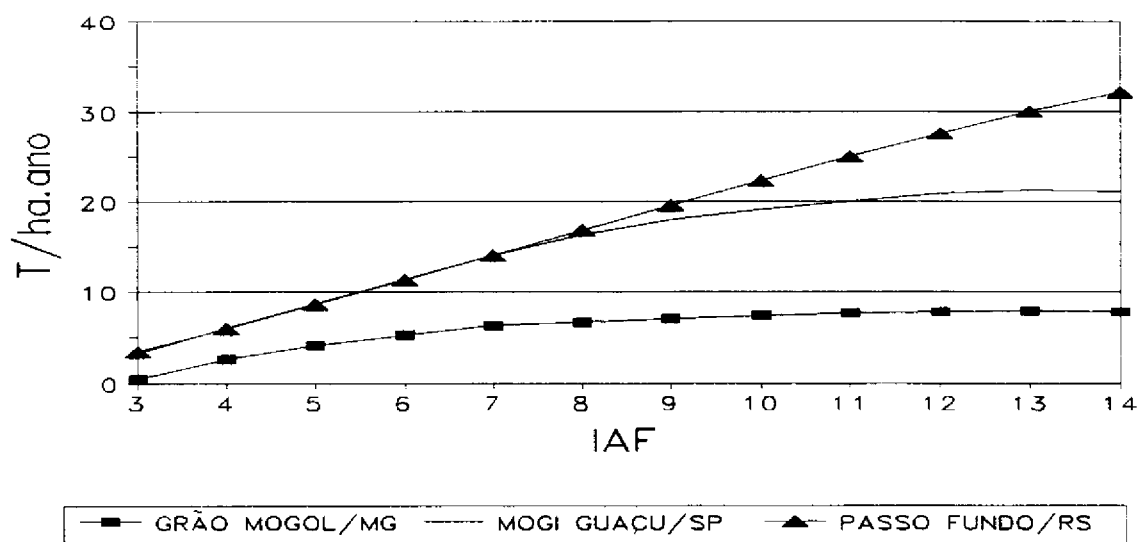


Fig. 4.2.2.2 - Produtividade primária líquida para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

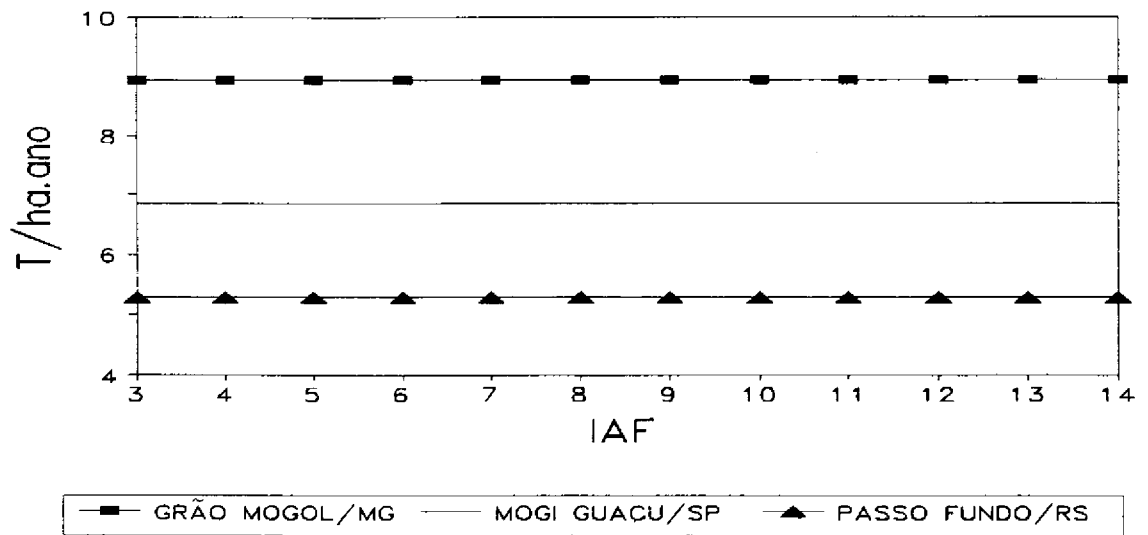


Fig. 4.2.2.3 - Respiração de manutenção do dossel para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

A figura 4.2.2.4 apresenta o padrão de respiração de crescimento anual para diferentes valores de IAF. Nota-se que é o mesmo padrão apresentado pelo figura da produtividade primária líquida, pois o cálculo da respiração nada mais é do que uma proporção constante do carbono líquido fixado e disponível para as diferentes partes do dossel dada pelos parâmetros da fração de respiração do crescimento das folhas (P43), do tronco (P44) e das raízes (P45). Assim, a respiração de crescimento anual não é controlada pelas condições climáticas apresentando uma proporção constante nas três regiões.

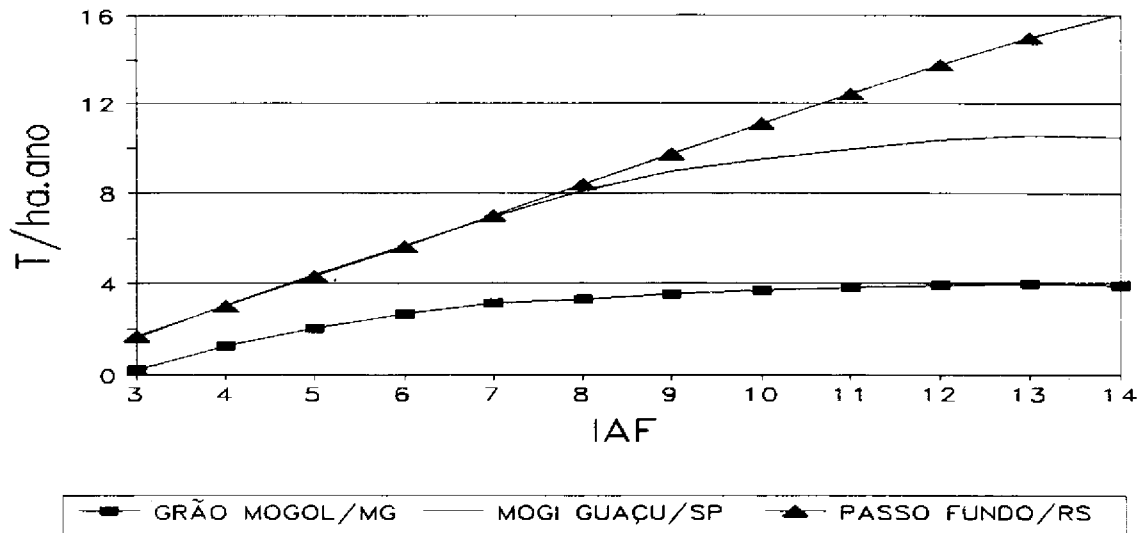


Fig. 4.2.2.4 - Respiração de crescimento anual para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

A produtividade primária líquida por partes do dossel também segue o mesmo comportamento descrito anteriormente (gráficos não apresentados). Isto acontece porque o carbono fixado anualmente é distribuído para as partes do dossel à partir de uma proporção fixa para as três regiões dada pelos parâmetros de fração de fixação do carbono foliar (P30), do carbono do conjunto tronco/galhos (P31) e do carbono das raízes (P32).

As figuras 4.2.2.5 e 4.2.2.6 mostram a eficiência do uso da água na fotossíntese, nas três regiões, para diferentes valores de IAF. As regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu apresentam uma maior eficiência de uso da água para valores de IAF próximos a 9, embora Mogi Guaçu apresente sempre um melhor desempenho. Tal fato está associado a limitação da disponibilidade de água no solo que estabelece nessas duas regiões uma diferenciação na otimização dos recursos hídricos e energéticos existentes no ano de 1989.

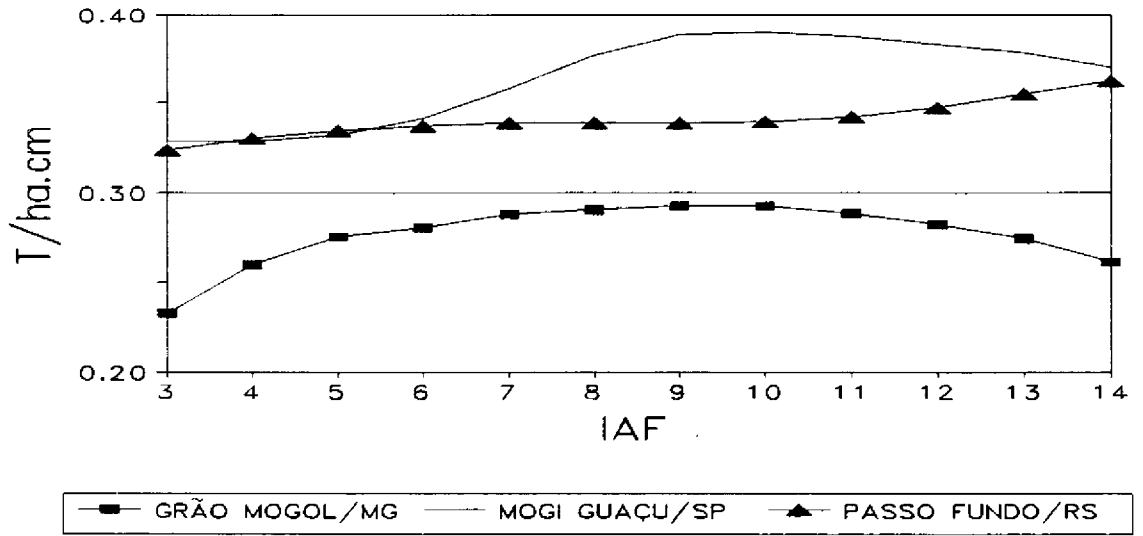


Fig. 4.2.2.5 - Eficiência do uso da água (fotossíntese líquida/transpiração) para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

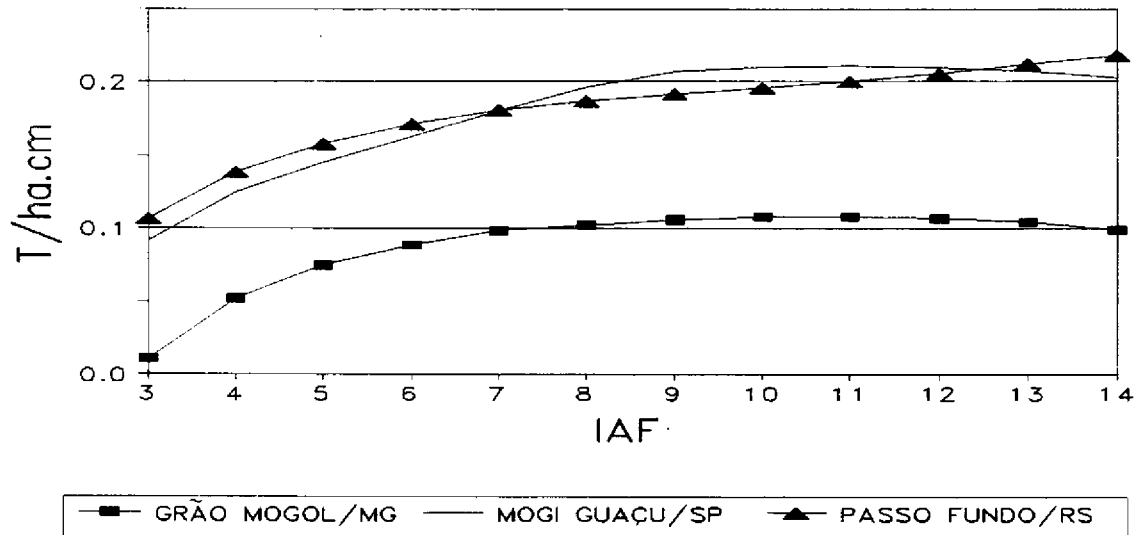


Fig. 4.2.2.6 - Eficiência do uso da água (produtividade primária líquida/transpiração) para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

Na figura 4.2.2.7 observa-se o comportamento da taxa de decomposição para diferentes valores de IAF. O processo de decomposição é modelado em função da evapotranspiração e do conteúdo de lignina na serrapilheira. Na região de Passo Fundo, onde não se observa limitação hídrica, o processo de evapotranspiração é superior às demais regiões, para valores de IAF maiores do que 9 (tabela 4.2.1.1). Entretanto, com o aumento no valor do IAF espera-se uma redução na radiação disponível na serrapilheira e um aumento na interceptação de água pelo dossel reduzindo a sua umidade. Esses fatores deveriam induzir a um decréscimo nas taxas de decomposição. Desta forma, os valores absolutos das taxas de decomposição não devem ser válidos, embora devem ser válidas as comparações relativas dos processos entre os locais para um determinado valor de IAF.

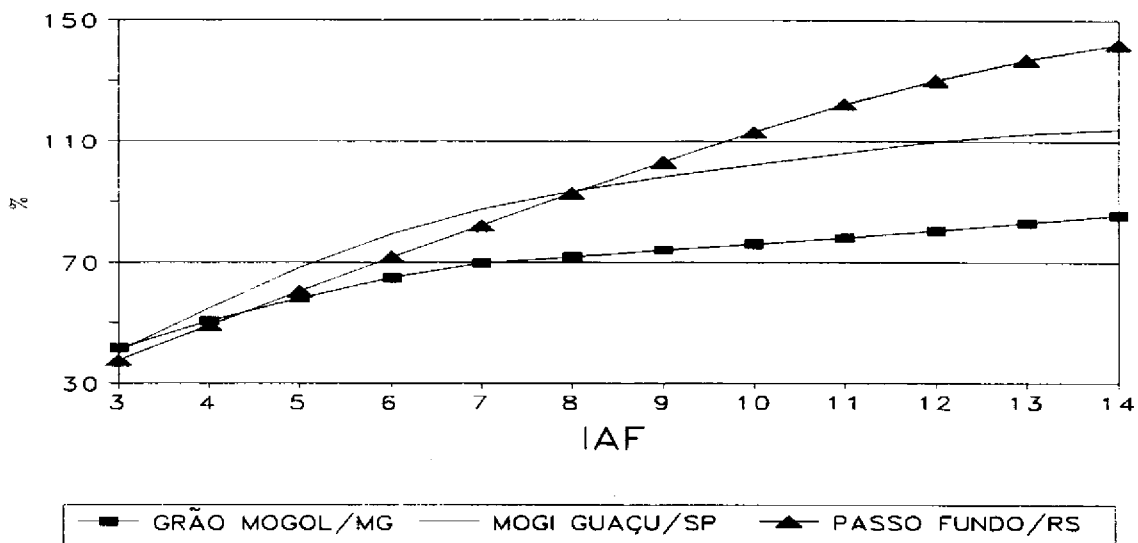


Fig. 4.2.2.7 - Taxa de decomposição da lignina para as três regiões com o valor do IAF variando de 3 a 14

Nos resultados apresentados procurou-se enfatizar mais as diferenças relativas dos processos entre as três regiões do que tentar validar a exatidão das saídas do modelo. A validação desses resultados incorpora custos e dificuldades logísticas de montagem de experimentos de campo que fogem do escopo deste trabalho. Neste caso, a validação inicial dos resultados deve ser feita parcialmente com base em dados levantados em ecossistemas e regiões climaticamente comparáveis e disponíveis na literatura. O modelo Forest-BCG apresentou resultados de simulação validados utilizando valores de IAF=3,6, e 9, para a região de Jacksonville-Flórida/USA, semelhantes aos resultados do ciclo do carbono apresentados pelo modelo Forecos para as regiões de Passo Fundo e Mogi Guaçu (tabela 4.2.1.1).

4.2.3 - CICLO HIDROLÓGICO MENSAL

A figura 4.2.3.1 apresenta o comportamento mensal do processo de evaporação nas três regiões considerando que o dossel apresente um valor de IAF igual a seis. Observa-se que a evaporação, na região de Grão Mogol, é maior do que nas demais regiões somente no mês de dezembro, enquanto que na região de Passo Fundo este comportamento é observado nos meses de abril, maio e outubro.

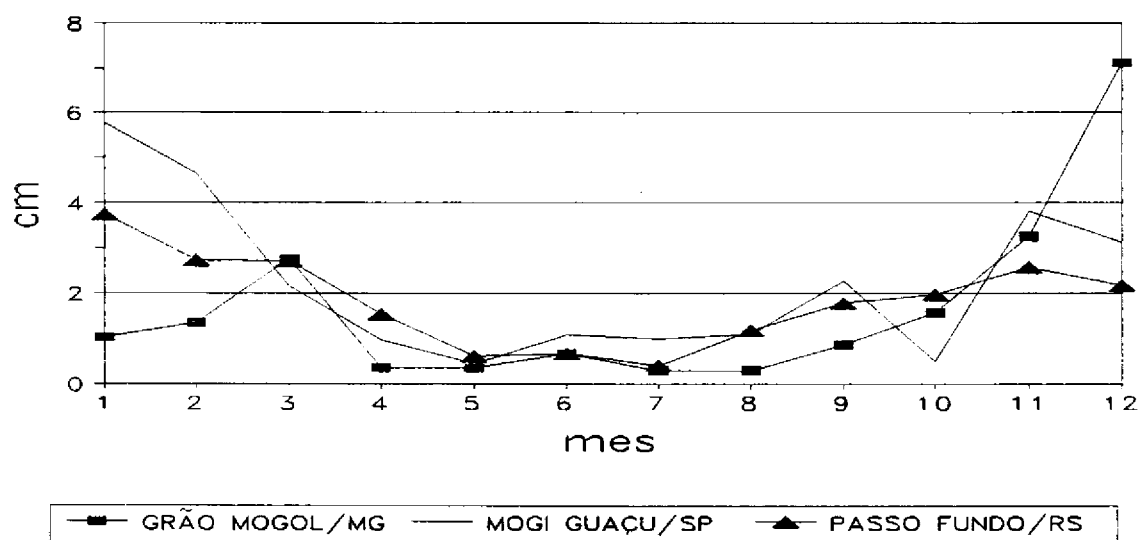


Fig. 4.2.3.1 - Evaporação mensal para as três regiões com o valor do IAF=6

O processo de evaporação diária é modelado em função da disponibilidade de radiação líquida e da precipitação diária interceptada. Esta última depende tanto da quantidade quanto da distribuição da precipitação (figura 3.2.4). Assim, na região de Grão Mogol, a evaporação é limitada pela precipitação já que a radiação líquida média mensal foi quase sempre superior às demais regiões (figura 4.2.3.2). Nesta região a evaporação é maior do que nas demais regiões somente no mês de dezembro, onde a precipitação apresenta o maior valor. Na região de Passo Fundo, a maior disponibilidade de precipitação não corresponde ao período máximo de evaporação, pois o processo é limitado pela disponibilidade de radiação.

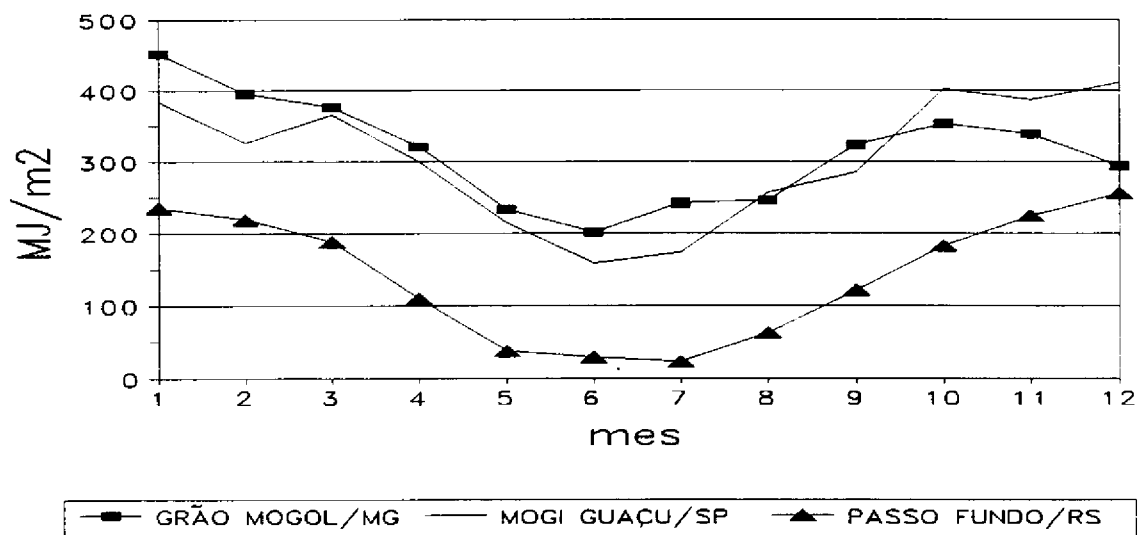


Fig. 4.2.3.2 - Radiação líquida média mensal disponível para as três regiões com o valor do IAF=6

Na figura 4.2.3.3 observa-se o comportamento do processo de transpiração mensal. As regiões de Mogi Guaçu e Passo Fundo apresentam o menor valor no início do inverno enquanto que, na região de Grão Mogol, os menores valores ocorrem no final do inverno e início da primavera. O controle deste processo envolve um maior número de variáveis destacando-se, na equação de Penman Monteith, a radiação e o controle da transpiração que é realizado pela resistência estomatal. Os valores mensais desta resistência pode ser visualizado no figura 4.2.3.4. Principalmente na região de Grão Mogol observa-se que os maiores valores de resistência ocorrem nos meses correspondentes aos menores valores de transpiração. A resistência do dossel ao processo de transpiração aumenta, como é esperado, à medida que diminui a disponibilidade de água no solo (figura 4.2.3.5).

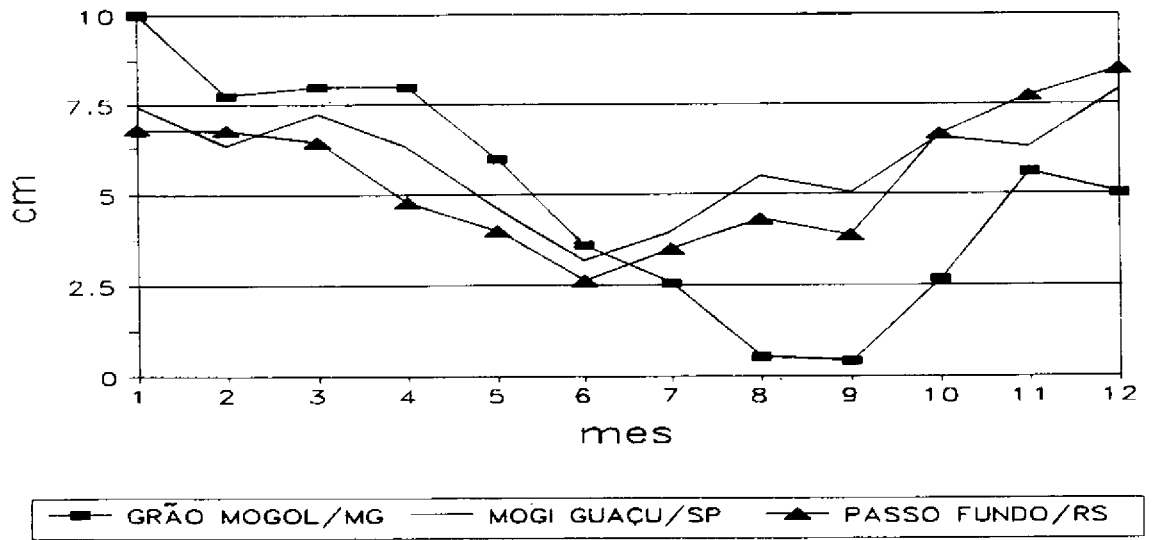


Fig. 4.2.3.3 - Transpiração mensal para as três regiões com o valor do IAF=6

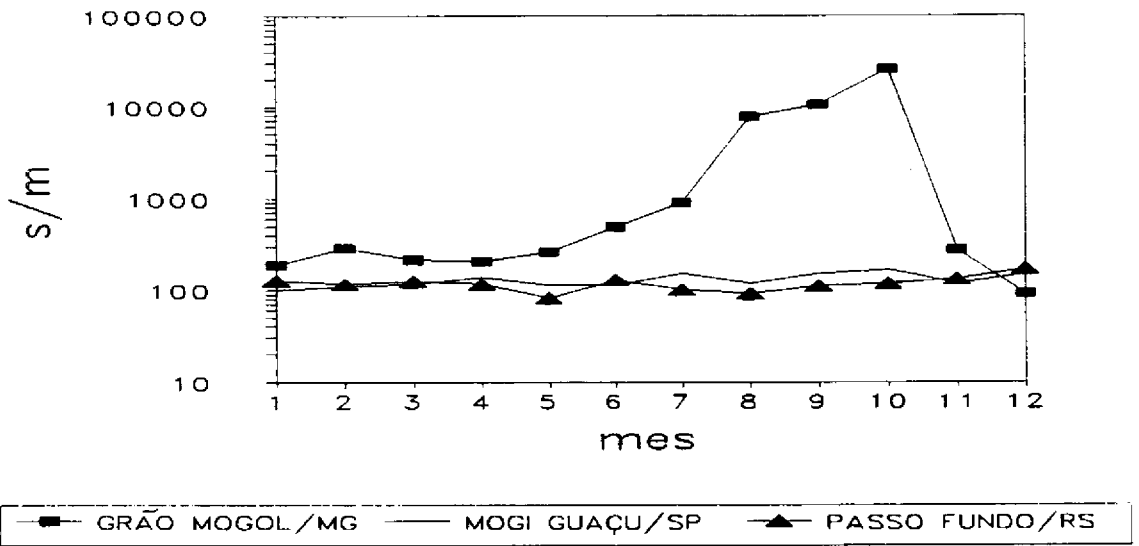


Fig. 4.2.3.4 - Resistência mensal a transpiração para as três regiões com o valor do IAF=6

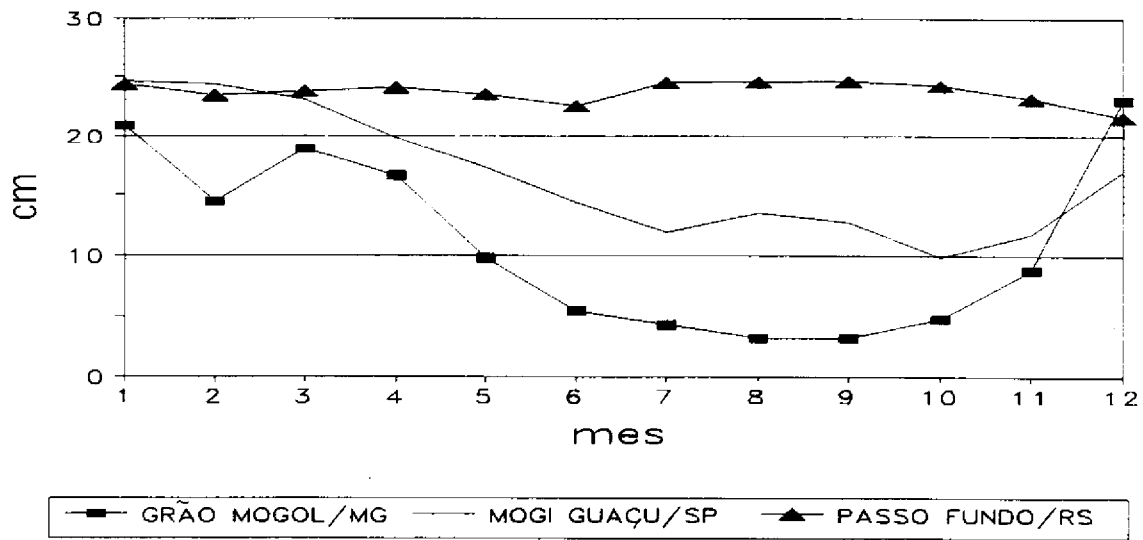


Fig. 4.2.3.5 - Disponibilidade de água no solo para as três regiões com o valor do IAF=6

Na figura 4.2.3.6 observa-se o comportamento da evapotranspiração que integra os dois processos apresentados anteriormente.

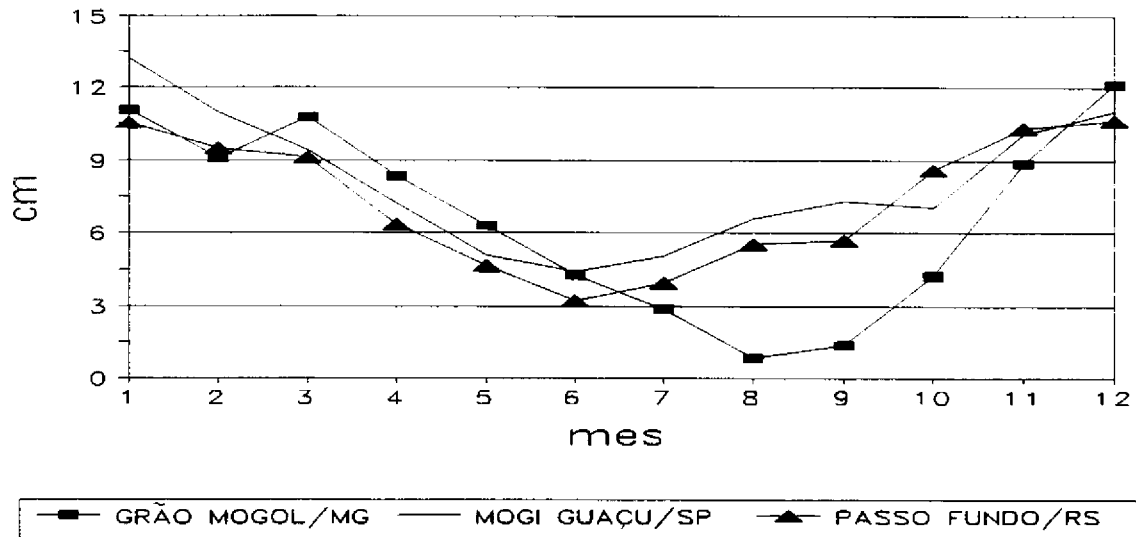


Fig. 4.2.3.6 - Evapotranspiração mensal para as três regiões com o valor do IAF=6

Na figura 4.2.3.7 observa-se o comportamento mensal do escoamento. Nota-se que, nas regiões de Mogi Guaçu e Grão Mogol, o escoamento concentra-se no verão enquanto que na região de Passo Fundo concentra-se no inverno e na primavera. Este padrão de comportamento acompanha o padrão de distribuição da precipitação (figura 3.2.4). A recarga mensal de água no solo apresenta também um padrão semelhante ao observado no escoamento (Figura 4.2.3.8).

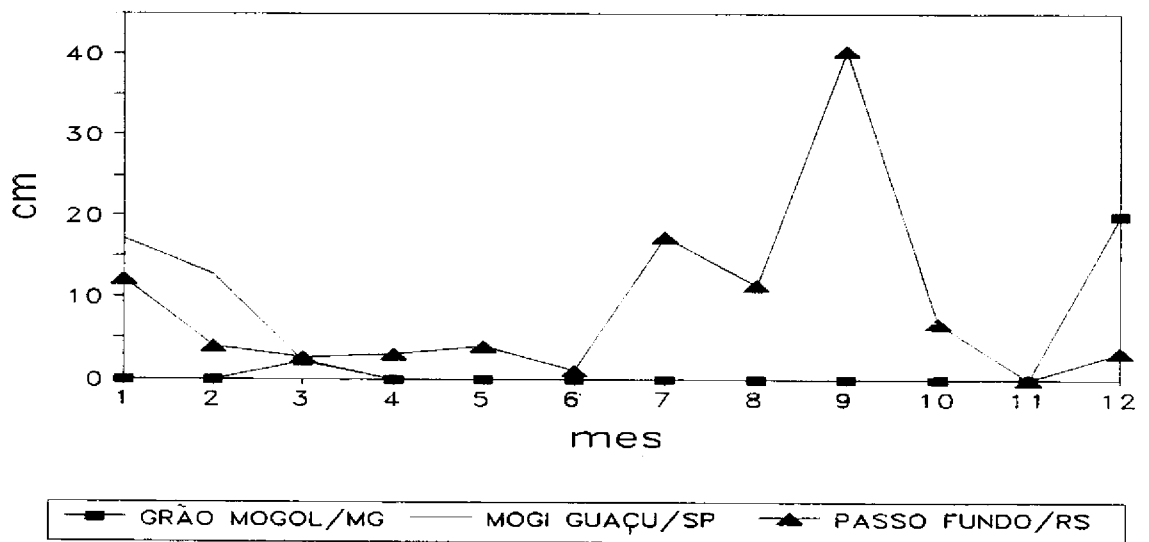


Fig. 4.2.3.7 - Escoamento mensal para as três regiões com o valor do IAF=6

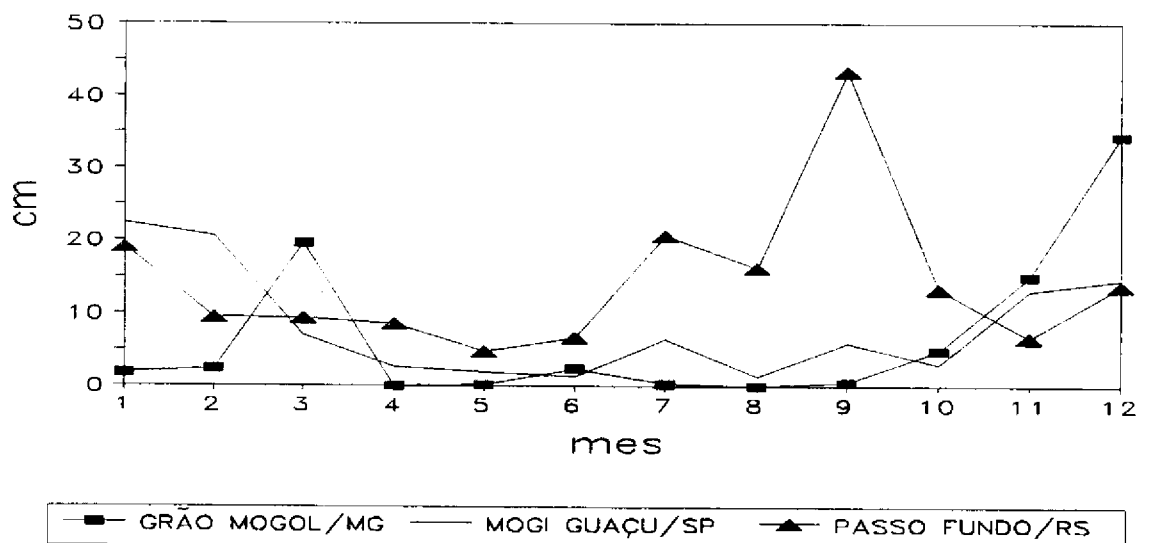


Fig. 4.2.3.8 - Recarga de água mensal no solo para as três regiões com o valor do IAF=6

4.2.4 - CICLO MENSAL DO CARBONO

No figura 4.2.4.1 observa-se a distribuição mensal da fotossíntese bruta e da respiração de manutenção total de todas as partes do dossel.

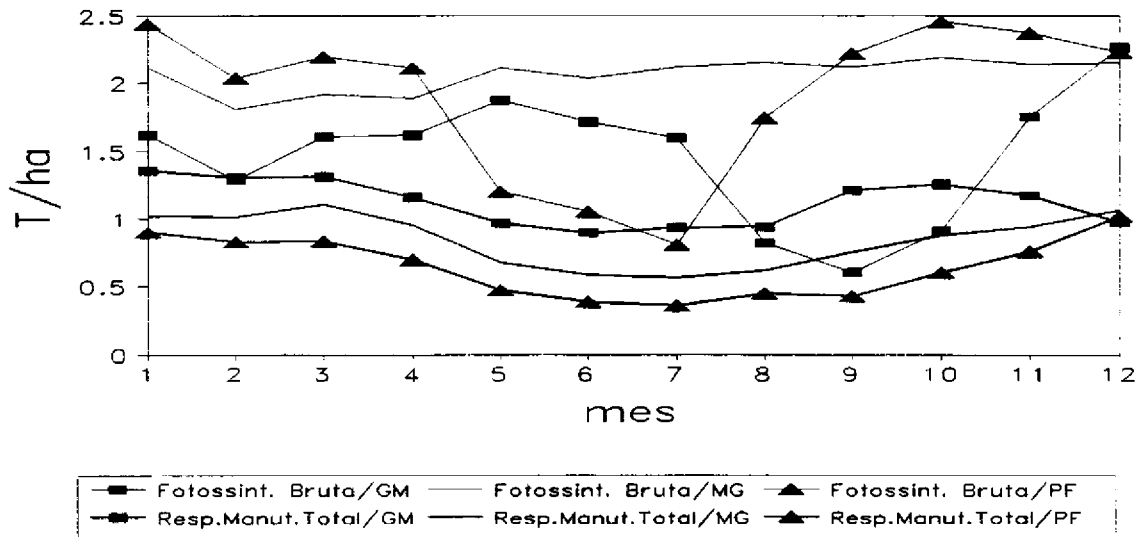


Fig. 4.2.4.1 - Distribuição mensal da fotossíntese bruta e da respiração de manutenção total do dossel para três as regiões com o valor do IAF=6

Nota-se que os maiores valores de produção de fotossíntese, na região de Passo Fundo, ocorrem na primavera e no verão em função da maior disponibilidade de água no solo, do maior comprimento do dia e da maior condutância de CO₂ no mesófilo. No inverno, a processo fotossintético reduz-se sensivelmente em função da disponibilidade de radiação e da queda de temperatura.

Na região de Mogi Guaçu, a produção fotossintética mantém-se mais constante no decorrer do ano quando comparada com as demais regiões. Tal fato está associado a uma maior estabilidade das condições climáticas durante o ano .

Na região de Grão Mogol, os valores de fotossíntese bruta tendem a decrescer no período de agosto a outubro em função da redução na condutância de CO_2 no mesófilo decorrente do estresse hídrico. No modelo Forecos a condutância de CO_2 no mesófilo é parametrizada como sendo 1.6 do valor da condutância de água no dossel com redução de umidade (17). Neste período a respiração de manutenção é superior a fotossíntese bruta produzida.

O padrão das curvas de respiração de manutenção acompanham a tendência de comportamento das variáveis de temperatura de cada região (figuras 3.2.1, 3.2.3 e 3.2.3).

O carbono mensal fixado, calculado pela subtração do valor da respiração de manutenção do valor da fotossíntese bruta produzida, pode ser observado na figura 4.2.4.2. Nota-se um déficit de carbono fixado, no mês de setembro, decorrente da redução da fotossíntese bruta e da elevação da respiração de manutenção para a região de Grão Mogol.

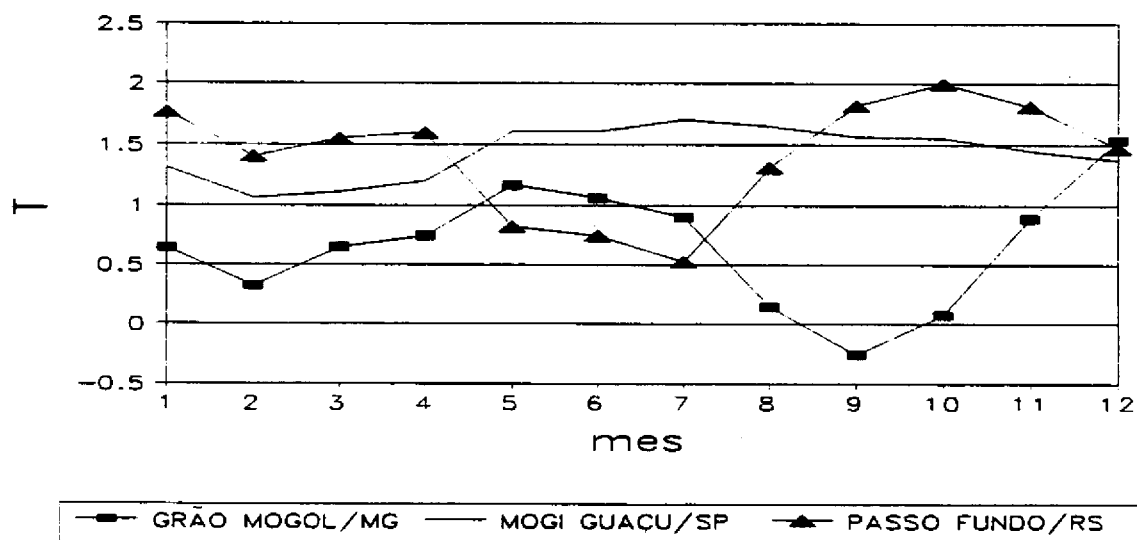


Fig. 4.2.4.2 - Carbono mensal fixado para três as regiões com o valor do IAF=6

4.3 - TRATAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

Apresenta-se os resultados obtidos nos tratamentos digitais das imagens TM/LANDSAT 5 para as regiões de Grão Mogol/MG e Mogi Guaçu/SP. Não são apresentados os resultados para a região de Passo Fundo/RS em função da dispersão das áreas plantadas com coníferas dentro da Floresta Nacional de Passo Fundo, bem como pela topografia ondulada a forte ondulada dessas áreas.

A foto 1 mostra as áreas de coníferas delimitadas na imagem reflectância do canal 3 para a região de Grão Mogol. Estas áreas são denominadas de coníferas 1 (c1), coníferas 2 (c2) e coníferas 3 (c3). Nas áreas c1 e c2 pode-se observar alguns talhões e as vias de acesso.

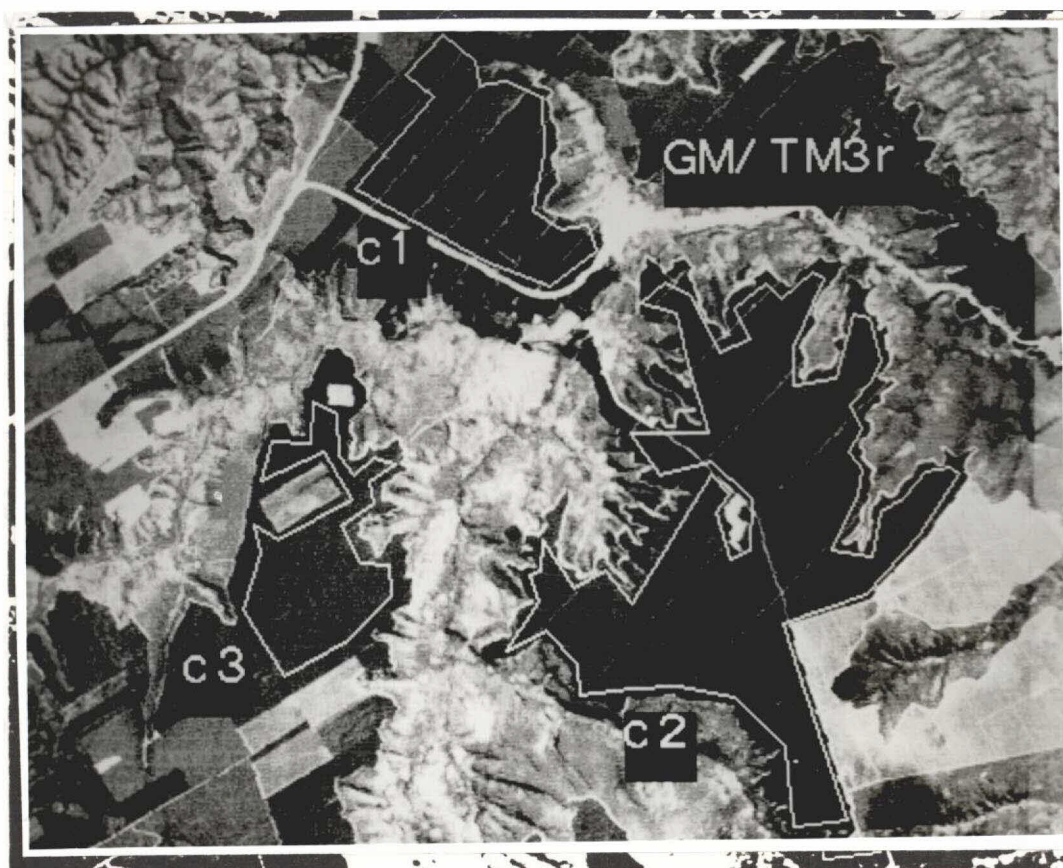


Foto 1 - Áreas de coníferas da região de Grão Mogol delimitadas na imagem reflectância do canal 3 do sensor TM/Landsat 5

As figuras 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 e 4.3.4 mostram, respectivamente, os histogramas dos níveis de cinza das áreas delimitadas para a região de Grão Mogol das imagens reflectância dos canais 3 e 4 e dos índices de vegetação razão simples e diferença normalizada.

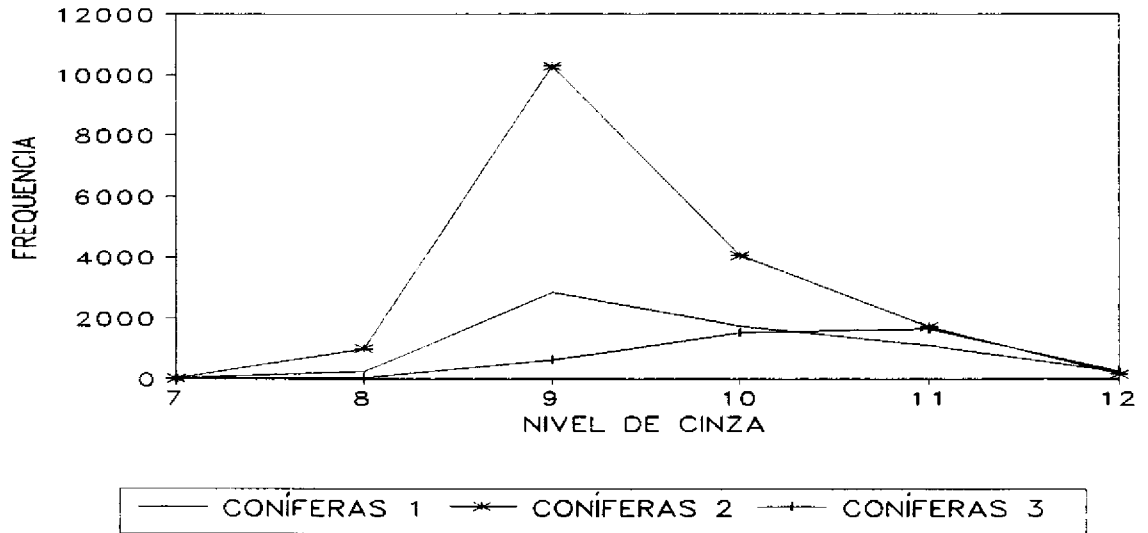


Fig. 4.3.1 - Histograma das áreas delimitadas no canal 3 na região de Grão Mogol

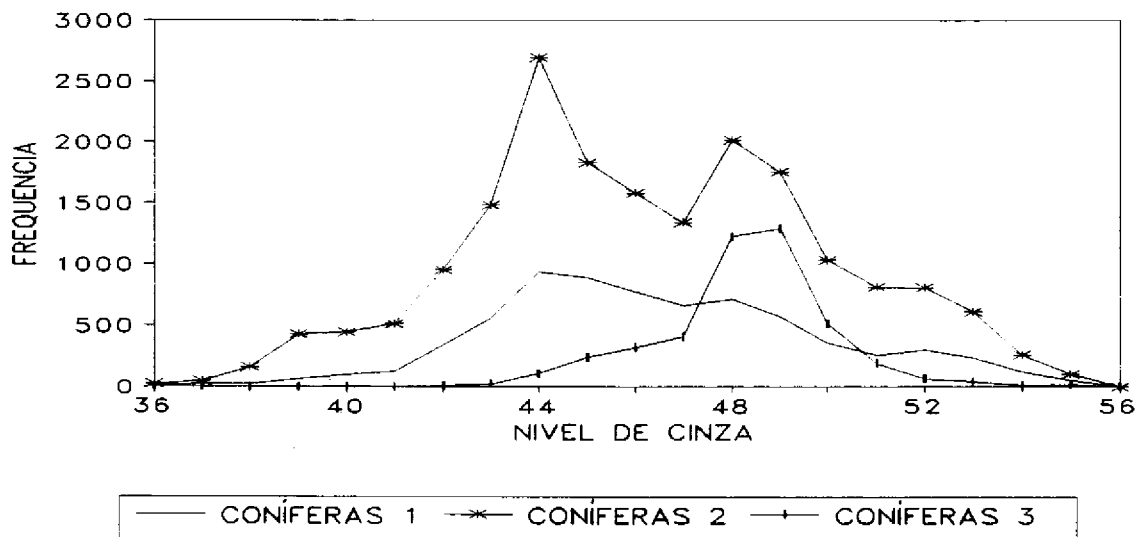


Fig. 4.3.2 - Histograma das áreas delimitadas no canal 4 na região de Grão Mogol

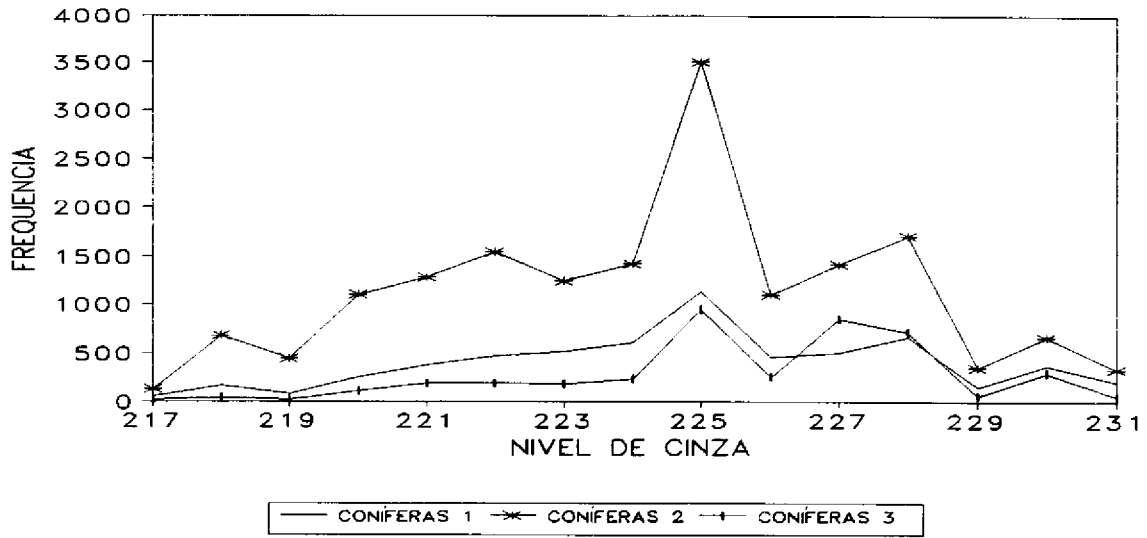


Fig. 4.3.3 -Histograma das áreas delimitadas na imagem razão simples na região de Grão Mogol

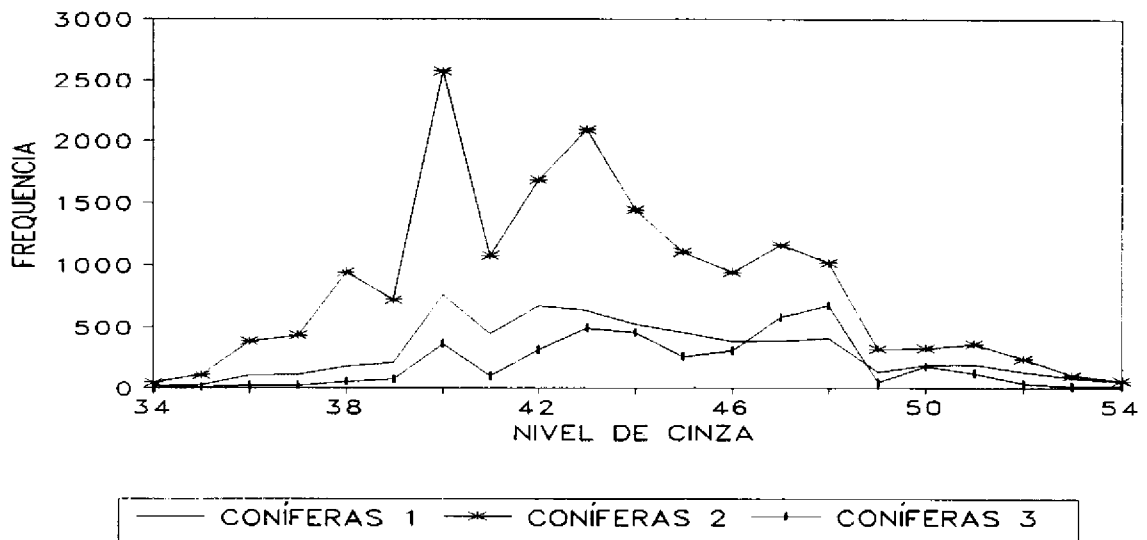


Fig. 4.3.4 -Histograma das áreas delimitadas na imagem diferença normalizada na região de Grão Mogol

As fotos 2,3,4 e 5 mostram, respectivamente, a classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas nos canais 3,4, índice de vegetação razão simples e diferença normalizada.

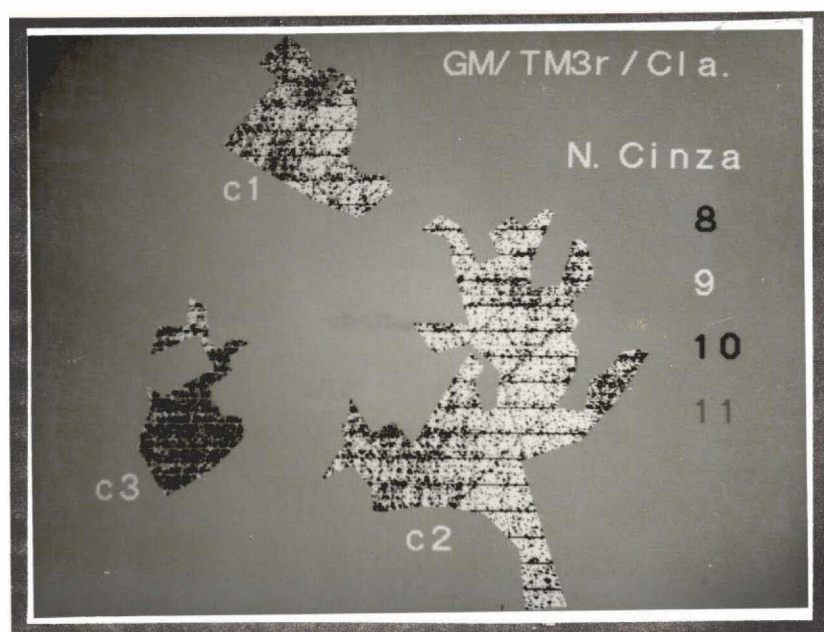


Foto 2 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (canal 3)

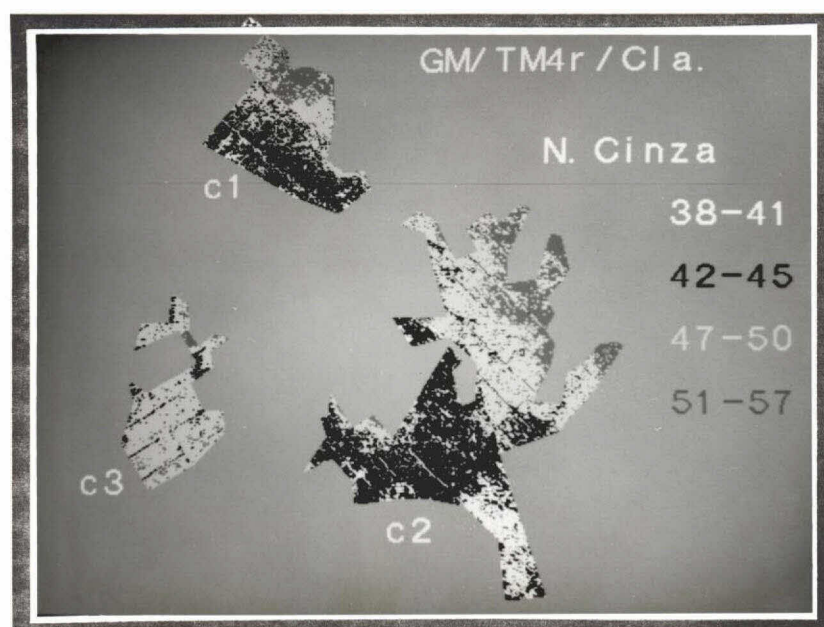


Foto 3 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (canal 4)

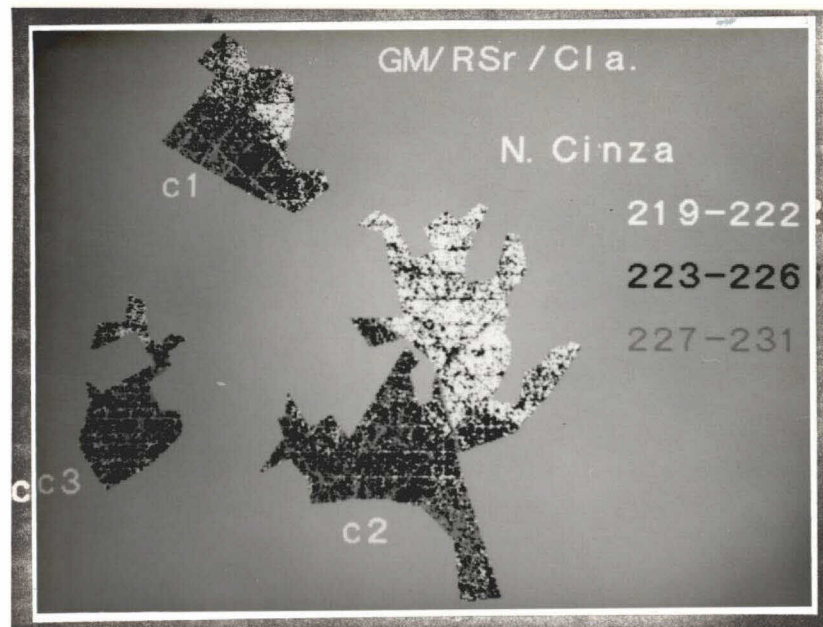


Foto 4 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (razão simples)

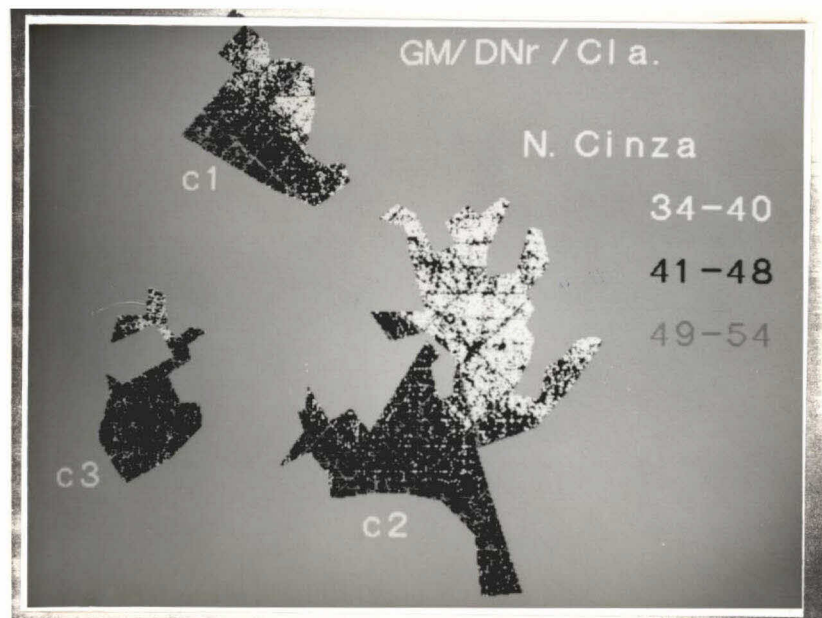


Foto 5 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Grão Mogol (diferença normalizada)

Observa-se na figura 4.3.1 e na foto 2 que a maior frequência dos níveis de cinza ocorre, nas áreas c1 e c2, no valor igual a nove. Nestas áreas, os níveis de cinza 8 e 10 correspondem, principalmente ao ruído do tipo "striping". Na área c3 a maior frequência dos níveis de cinza ocorre nos valores de 11 e 10. Estes resultados indicam uma grande homogeneidade dos valores de reflectância das áreas de coníferas, na região espectral do vermelho, para a região de Grão Mogol.

Observa-se na figura 4.3.2 e na foto 3 que a variação nos valores de níveis de cinza, dentro das áreas c1 e c2, na região espectral do infravermelho próximo, é bem superior a observada na região espectral do vermelho. Desta forma, os índices de vegetação refletem muito mais as diferenças observadas no canal 4 do que as observadas no canal 3 (Foto 4 e Foto 5).

Estes resultados apresentados sugerem, com base nas correlações estabelecidas por Peterson et al., (1987) e apresentadas nas figuras 2.3.2 e 2.3.3, que o valor do índice de área foliar tende a ser aproximadamente o mesmo na maioria dos talhões de coníferas inseridos dentro de cada uma das áreas c1, c2 e c3. Como reforço a esta hipótese, uma vez que não se dispõe da verdade terrestre, tem-se ainda a homogeneidade do reflorestamento em decorrência da utilização de uma mesma espécie plantada em uma mesma época, da padronização dos tratamentos culturais e do espaçamento de plantio e do mesmo tipo de solo.

A foto 6 mostra as áreas de coníferas delimitadas na imagem reflectância do canal 3 para a região de Mogi Guaçu. Estas áreas também são denominadas de c1, c2 e c3. Nas áreas c1 e c2 pode-se identificar os talhões e as vias de acesso.



Foto 6 - Áreas de coníferas da região de Mogi Guaçu delimitadas na imagem reflectância do canal 3 do sensor TM/Landsat 5

As figuras 4.3.5, 4.3.6, 4.3.7 e 4.3.8 mostram, respectivamente, os histogramas dos níveis de cinza das áreas delimitadas para a região de Mogi Guaçu nas imagens reflectância dos canais 3, 4 e dos índices de vegetação razão simples e diferença normalizada.

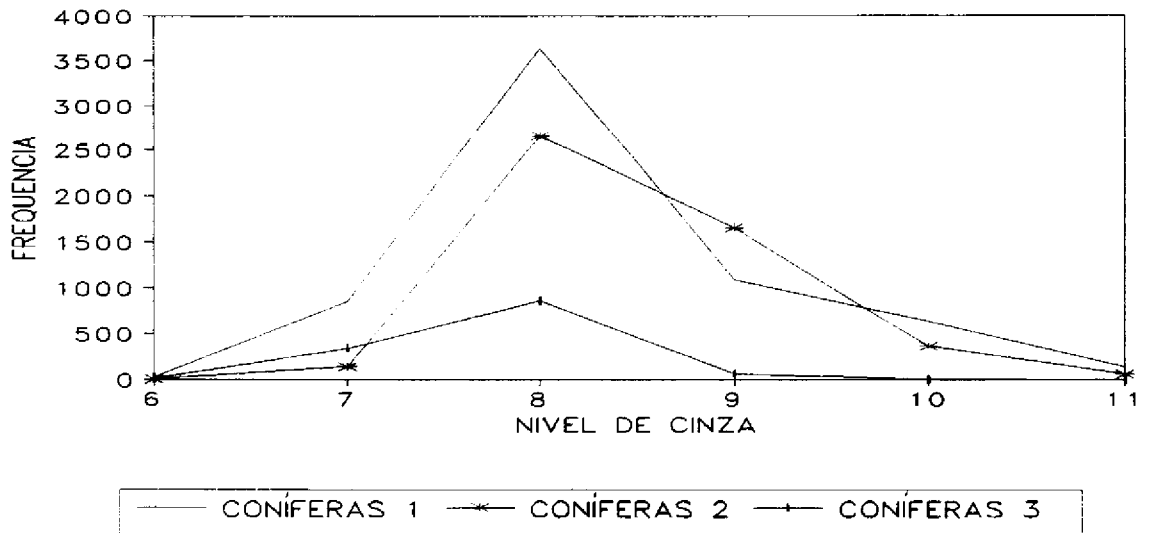


Fig. 4.3.5 -Histograma das áreas delimitadas no canal na região de Mogi Guaçu

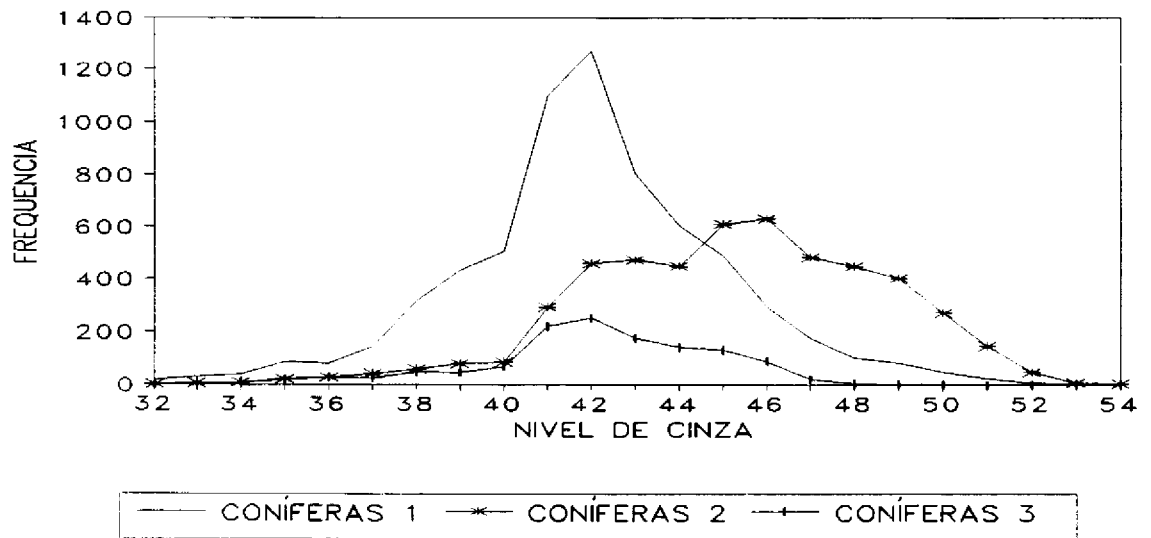


Fig. 4.3.6 -Histograma das áreas delimitadas no canal 4 na região de Mogi Guaçu

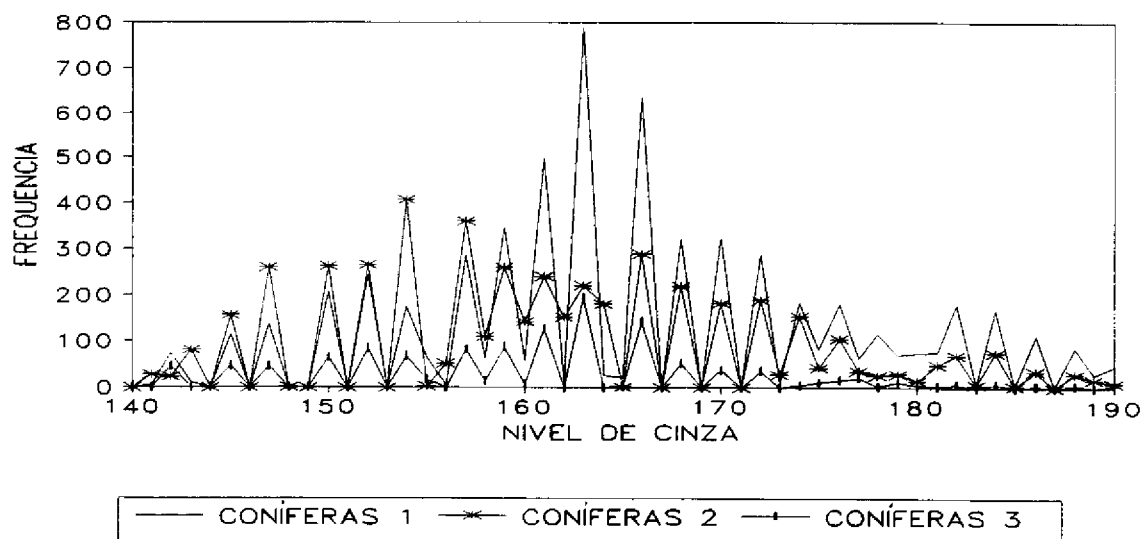


Fig. 4.3.7 -Histograma das áreas delimitadas na imagem razão simples na região de Mogi Guaçu

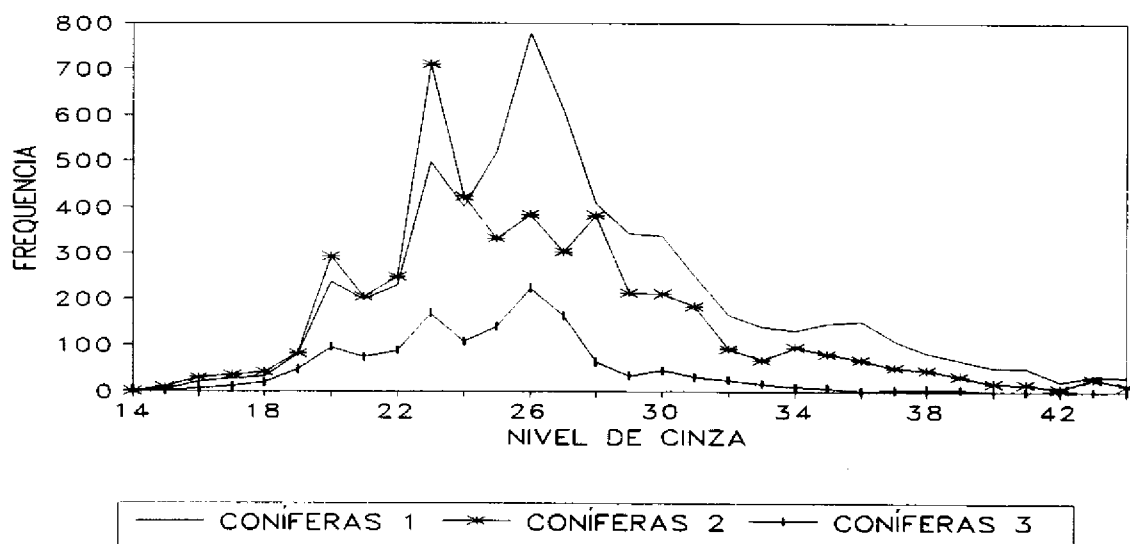


Fig. 4.3.8 -Histograma das áreas delimitadas na imagem diferença normalizada na região de Mogi Guaçu

As fotos 7, 8, 9 e 10 mostram, respectivamente, a classificação manual dos níveis de cinza no interior das áreas delimitadas nos canais 3, 4, índice de vegetação razão simples e diferença normalizada.

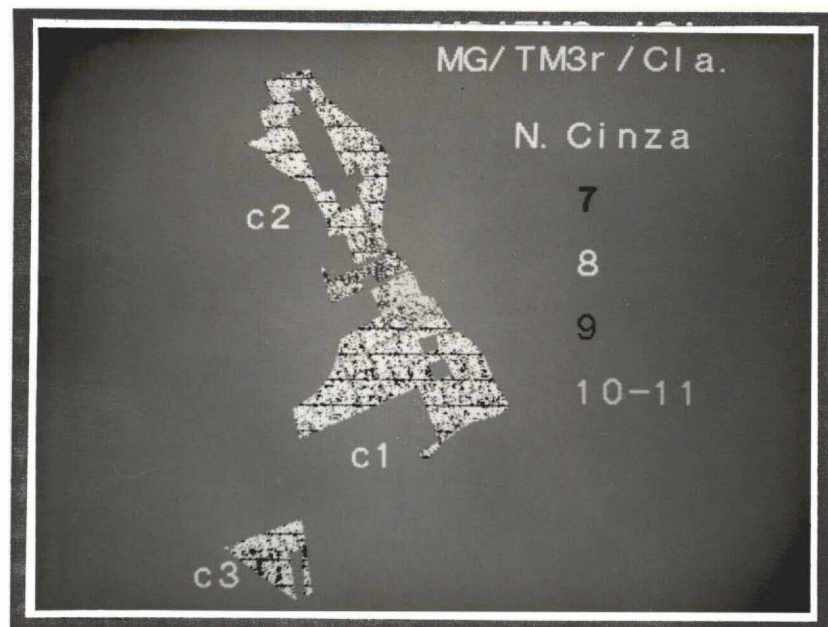


Foto 7 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (canal 3)

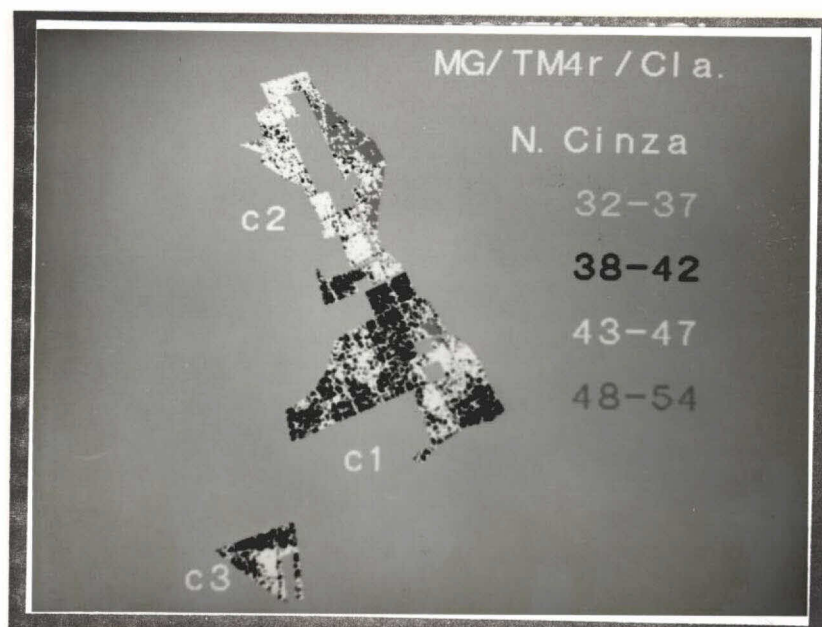


Foto 8 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (canal 4)

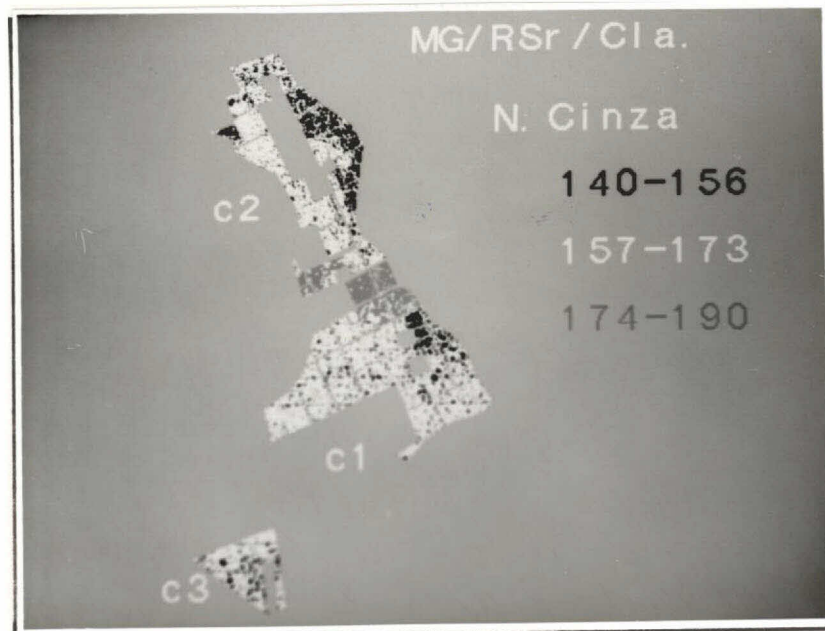


Foto 9 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (razão simples)

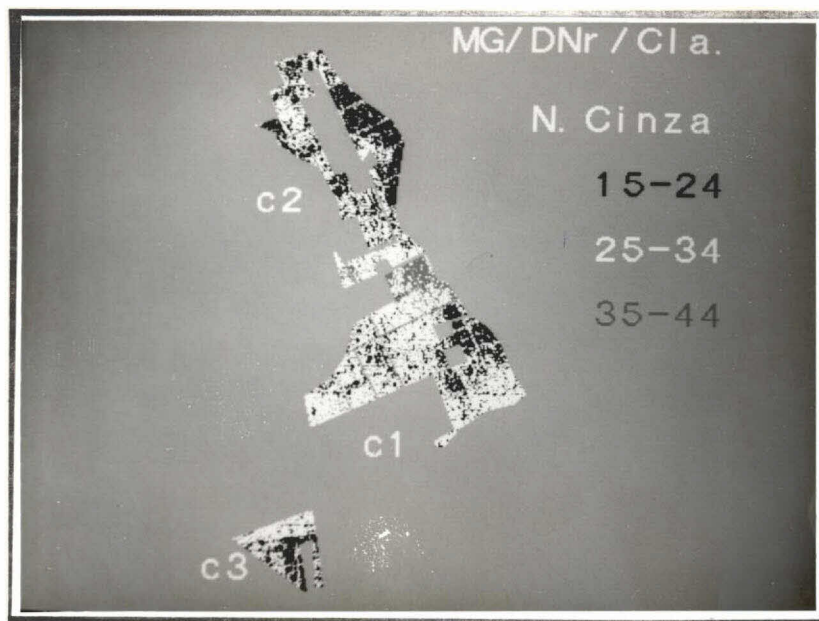


Foto 10 - Classificação por fatiamento dos níveis de cinza do interior das áreas delimitadas na região de Mogi Guaçu (diferença normalizada)

Observa-se na figura 4.3.6 e na foto 7 que a maior frequência dos níveis de cinza ocorre, nas áreas c1, c2 e c3, no valor igual a oito. Os níveis de cinza sete e nove correspondem, principalmente ao ruído do tipo "striping". Os níveis de cinza 10 e 11 aparecem principalmente na parte superior da área c1. Estes resultados indicam também uma grande homogeneidade dos valores de reflectância das áreas de coníferas, na região espectral do vermelho, para a região de Mogi Guaçu.

Observa-se na figura 4.3.7 e na foto 8 que a variação nos valores de níveis de cinza, dentro das áreas delimitadas, na região espectral do infravermelho próximo, é também bem superior a observada na região espectral do vermelho. Desta forma, como também observado na região de Grão Mogol, os índices de vegetação refletem muito mais as diferenças observadas no canal 4 do que as observadas no canal 3 (Foto 9 e Foto 10).

Estes resultados apresentados sugerem, apesar da diversidade de espécies de coníferas e de idade dos reflorestamentos, que o valor do índice de área foliar tende a ser aproximadamente o mesmo na maioria dos talhões de coníferas ou que apresentem diferentes valores de IAF, mas que já tenham atingido o ponto de saturação de absorção da clorofila mencionado por Peterson et al., 1987.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

O modelo implementado foi testado e mostrou-se capaz de retratar, em escala regional, diferenças relativas entre os processos básicos do ciclo hidrológico e do carbono de ecossistemas florestais de coníferas existentes nas regiões de Grão Mogol/MG, Mogi Guaçu/SP e Passo Fundo/RS. O modelo descreve quantitativamente as interações entre os fatores ambientais contrastantes destas três regiões com os principais processos físicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas florestais, apesar de algumas de suas variáveis não terem sido parametrizadas de maneira específica para cada ecossistema. Entretanto, a modelagem do processo de decomposição da serrapilheira e o cálculo da condutância mínima de CO₂ do mesófilo foliar (I11) utilizada na estimativa do processo de fotossíntese necessitam serem revistos ou ajustados para uma melhor representação desses processos. O modelo apresenta, aparentemente, um melhor desempenho na representação dos processos quando utilizado na faixa de valores de índice de área foliar (IAF) compreendida entre 3 e 9. Para IAF superiores a nove os valores dos processos modelados, tanto para o ciclo do carbono quanto para o ciclo hidrológico, tendem a se estabilizar nas regiões de Grão Mogol e Mogi Guaçu. Para a região de Passo Fundo, a maioria dos valores dos processos modelados continuam a apresentar acréscimos significativos com o aumento do valor de IAF.

Para a validação final do Modelo Forecos é necessário estimativas específicas das condições iniciais e dos principais parâmetros, selecionados pelo teste de sensibilidade, com medidas independentes dos processos modelados para comparar com as saídas calculadas pelo modelo. Neste contexto, cabe ressaltar dois aspectos peculiares e antagônicos. O primeiro aspecto é a dificuldade de se efetuar as estimativas regionais dos processos modelados necessárias para a sua validação final. Mesmo as estimativas já existentes na literatura, em geral ficam restritas aos processos de evapotranspiração e são obtidas a nível de canteiro experimental limitadas a um determinado período do ano. O segundo aspecto é que, apesar da dificuldade de se validar totalmente os resultados do modelo, a única forma de tentar estimar estes processos numa escala regional é através de modelos desta natureza.

As saídas do modelo são particularmente sensíveis ao valor do índice de área foliar (IAF) e sua adequada estimativa é importante para a precisão dos resultados do modelo. Desta forma, o potencial de estimativa do IAF à partir de dados de satélite é importante para simulações regionais dos processos de interesse em ecossistemas florestais. Os resultados obtidos no estudo dos padrões de distribuição espacial dos níveis de cinza das áreas delimitadas nas imagens sugerem, com base nas correlações existentes na literatura, duas hipóteses. A primeira é a existência de uma certa homogeneidade nos valores de IAF, embora não possa ser atribuído um determinado valor absoluto a estas áreas. Para isto seria necessário levantar a verdade terrestre dentro dos poucos padrões mapeados para cada uma das áreas teste. A segunda hipótese é que as áreas apresentam diferentes valores de IAF, mas a variação não é detectável devido a saturação na faixa espectral do vermelho que é um importante componente dos índices de vegetação. Neste último caso as áreas teste devem apresentar valores de IAF superiores a 8. A primeira hipótese parece mais coerente dado a homogeneidade das espécies plantadas e dos tratos culturais. Assim sendo, os resultados servem de certa forma tanto para validar a utilização de um único valor de IAF na simulação quanto para orientar futuras campanhas de campo para a medição dos valores de IAF.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Asrar, G.; Fuchs, M.; Kanemasu, E.T.; Hatfield, J.L. Estimating absorbed photosynthetic radiation and leaf area index from spectral reflectance in wheat. **Agronomy Journal**, 76:(3)300-306, 1984.
- Asrar, G.; Mynenir, R.B.; Kanemasu, E.T. Estimation of plant-canopy attributes from spectral reflectance measurements In: Ashar, G. ed. **Theory and applications of optical remote sensing**. New York, Johnwiley, 1989. v.1, cap.7, p.252-292.
- Badhwar, G.D.; Macdonald, R.B. Satellite-derived leaf-area-index and vegetation maps as input to global carbon cycle models-a hierarchical approach. **International Journal of Remote Sensing**, 7(2):265-281, 1986a.
- Badhwar, G.D.; Macdonald, R.B.; Hall, F.G.; Carnes, J.G. Spectral characterization of biophysical characteristics in a boreal forest: relationship between Thematic Mapper band reflectance and leaf area index for Aspen. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 24(3):322-326. 1986b.
- Blanche, C.A.; Hodges, J.D.; Nebeker, T.E. A leaf area-sapwood area ratio developed to rate loblolly pine tree vigor. **Canadian Journal Forest Research**, 15(4):1181-1184. 1985.
- Brand, D.G. Estimating the surface area of spruce and pine foliage from displacement volume and length. **Canadian Journal Forest Research**, 17:1305-1308. 1987.
- Brown, G.W. Measuring transmitted global radiation with fixed and moving sensors. **Agricultural and Meteorology**, 11(6):115-121. 1973.
- Coelho, D.T; Sedyama, G.; Vieira, M. Estimativa das temperaturas médias mensais e anuais no Estado de Minas Gerais. **Revista Ceres**, 20(112):455-459. 1973.
- Curran, P.J.; Williamson, H.D. GLAI estimation using measurements of red, near infrared, and midde infrared radiance. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, 53(2):183-186. 1987.
- Curran, P.J.; Dungan, J.L.; Gholz, H.L. **Seasonal LAI in slash pine estimated with Landsat TM**. California, Nasa, 1990. p.9. (Nasa Technical Memorandum, 102278).

- Drew, A.P.; Running, S.W. Comparison of two techniques for measuring surface area of conifer needles. **Forest Science**, 21(3):231-232. 1975.
- Gardner, R. H. **Error analysis and sensitivity analysis in ecology**. s.l., s.ed. [1983].
- Gay, L.W.; Knoerr, K.R.; Braaten, M.O. Solar radiation variability on the floor of a pine plantation. **Agricultural Meteorology** 8(3):39-50. 1971.
- Goel, N.S.; Thompson, R. L. Inversion of vegetation canopy reflectance models for estimating agronomics variables. v. estimation of leaf area index and average leaf angle using measured canopy reflectances. **Remote Sensing of Environment**, 16(5):69-85. 1984.
- Gower, S.T.; Grier, C.C.; Vogt, D.J.; Vogt, K.A. Allometric relations of deciduous (*Larix occidentalis*) and evergreen conifers (*Pinus contorta* and *Pseudotsuga menziesii*) of the Cascade Mountains in central Washington. **Canadian Journal Forest Research**, 17(8):630-634. 1987.
- Grier, C.C.; Waring, R.H. Conifer foliage mass related to sapwood area. **Forest Science**, 20(3):205-206. 1974.
- Gurumurti, K.; Srivastava, V.K. Estimation of needle area in pines. **Indian Journal of Forestry**, 5(1):52-54. 1982.
- Hatfield, J.L.; Kanemasu, E.T.; Ashar, G.; Jackson, R.D.; Pinter JR., P.J.; Reginato, R.J.; Idso, S.B. Leaf-area estimates from espectral measurements over various planting dates of wheat. **International Journal of Remote Sensing**, 6(1):167-175. 1985.
- Hadad, R.M. **Um sistema de tratamento de imagens que utiliza sistemas especialistas para auxiliar na interpretação**. (Tese de Mestrado em Engenharia Eletrônica e Computação Gráfica) - Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos, 1992. 138 p.
- Holben, B.N.; Tucker, C.J.; Fan, C.J. Spectral assessment of soybean leaf area index and leaf biomass. **Photogrammetric Engeneering and Remote Sensing**, 46(5):651-656. 1980.
- Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos renováveis (IBAMA). **Plano de manejo da floresta nacional de Passo Fundo**. Santa Maria, Universidade de Santa Maria, 1989. 390p.

- International Council of Scientific Unions (ICSU). How does vegetation interact with physical processes of the hidrological cycle?. In: **The International Geosphere-Biosphere Programme: a study of global change**. Stockholm, Sweden, 1990. (Report 12).
- Johnson, J.D. A rapid technique for estimating total surface area of pine needles. **Forest Science**, 30(4):913-921. 1984.
- Jurik, T.W.; Briggs, G. M.; Gates, D.M. A comparison of four methods for determining leaf area index in successional hardwood forests. **Canadian Journal of Forest Research**, 15(7):1154-1158. 1985.
- Kimes, D.S.; Markham, B.L.; Tucker, C.J.; McMurtrey III, J.E. Temporal relationships between spectral responses and agronomic variables of a corn canopy. **Remote Sensing of Environment**, 11(10):401-411. 1981.
- Kleman, J. The spectral signature of coniferous tree stands measured from helicopter. In: Canadian Symposium of Remote Sensing. 8., Quebec, Oct. 5-12, 1984, **Proceedings**. Quebec, s.ed. 1984, p.575-580.
- Larcher, W. Sinopsis. In: **Ecofisiologia Vegetal**. 4º ed. São Paulo. 1986. 8º. 289-292.
- Lohammar, T.; Larsson, S.; Linder, S.; Falk, S.O. Fast- Simulation models of gaseous exchange in Scots pine. In: Persson, T. ed. structure and function of northern coniferous forests-an ecosystem study. **Ecological Bulletin**, 32(4):505-523. 1980.
- Long, J.L.; Smith, F.W. Leaf area-sapwood area relations of Lodgepole pine as influenced by stand density and site index. **Canadian Journal of Forest Research**, 18(7):247-250. 1988.
- Markham, B.L.; Barker, J.L. Landsat MSS and TM post-calibration dynamics ranges, exoatmospheric reflectance and at-satellite temperatures. **EOSAT technical Notes**, 1(6):3-8. 1986.
- Marshall, J.D.; Waring, R.H. Comparison of methods of estimating leaf-area index in old-growth douglas-fir. **Ecology**, 67(4):975-979. 1986.
- Mather, P.M. Image transforms. In: **Computer processing of remotely-sensed images**. London, John Wiley & Sons. 1987. cap.6, p.179-241.

- Nemani, R.R.; Running, S.W. Testing a theoretical climate-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forest using satellite data and ecosystem simulation. **Agricultural and Forest Meteorology**, 44(8):245-260. 1989.
- Nobel, P.S. Leaves and fluxes In: Academic Press Limited. ed. **Physicochemical and environmental plant physiology**. New York, s.ed. 1991, cap.8, p.393-467.
- Oliveira, J. B., Berg, M.V. Aptidão Agrícola das terras da quadrícula de Araras. **Boletim técnico do Instituto Agrônômico de Campinas**, 102(9):1-60, 1985.
- Oliveira, J. B. et al. Levantamento pedológico semidetalhado da quadrícula de Araras. **Boletim técnico do Instituto Agrônômico de Campinas**, 71(11):1-180, 1982.
- Ometto, J.C. Radiação solar. In: Ceres, **Bioclimatologia Vegetal**, São Paulo, Ceres, 1981, p.9-40, 425p.
- Péché, G. Mobile sampling of solar radiation under conifers. **Agricultural and Forest Meteorology**, 37(4):15-28. 1986.
- Peterson, D.L.; Running, S. W. Applications in forest science and management. In: Ashar, G. ed. **Theory and applications of optical remote sensing**, New York, John Wiley, 1989. v.2. cap.10, p.429-491.
- Peterson, D.L.; Spanner, M.A.; Running, S.W. Relationships of thematic Mapper simulator data to leaf area index of temperate coniferous forests. **Remote Sensing of Environment**, 22(8):323-341. 1987.
- Pierce, L.L.; Running, S.W. Rapid estimation of coniferous forest leaf area using a portable integrating radiometer. **Ecology**, 69(6):1762-1767. 1988.
- Reifsnyder, W.E.; Funnival, G.M.; Horowitz, J.L. Spatial and temporal distribution of solar radiation beneath forest canopies. **Agricultural Meteorology**, 9(4):21-37. 1971.
- Rosenberg, N.J. The radiation balance In: Microclimate: the biological environment. New York, Johnwiley, 1974. cap.1, p.1-62.
- Running, S.W. Microclimate control of forest productivity: Analysis by computer simulation of annual photosynthesis/transpiration balance in different environments. **Agricultural Forest Meteorology**, 32(5):267-288. 1984

- Running, S.W.; Nemani, R. R. Extrapolation of synoptic meteorological data in mountainous terrain and its use for simulating forest evapotranspiration and photosynthesis. **Canadian Journal of Forest Research**, 17(6):472-483. jun. 1987.
- Running, S.W.; Coughan, J.C. A general model of forest ecosystem processes for regional applications I. hidrological balance, canopy gas exchange and primary production processes. **Ecological Modelling**, 42(7):125-154. 1988.
- Running, S.W.; Peterson, D.L.; Spanner, M.A.; Teuber, K.B. Remote sensing of coniferous leaf area. **Ecology**, 67(1):273-276. 1986.
- Running, S.W.; Nemani, R.R.; Peterson, D.L.; Band, L.E.; Potts, D.F.; Pierce, L.L.; Spanner, M.A. Mapping regional forest evapotranspiration and photosynthesis by coupling satellite data with ecosystem simulation. **Ecology**, 70(4):1090-1101. 1989.
- Salassier, B. Água no solo. In: ____ **Manual de irrigação**. Viçosa, Imprensa Universitária, 1982. cap. 1, p. 3-24.
- Santos, J.M. **Radiação Fotossinteticamente ativa**. São José dos Campos, 7 abr. 1990. Comunicação pessoal
- Sellers, W.D. **Physical Climatology**. 3.ed. Chicago, Chicago Press, 1974. 272 p.
- Sesso, M.G.V.; Lima, L.C. Um piranômetro portátil. **Ciência e Cultura**, 42(3/4):289-291. 1990.
- Soares, J.V.; Shimabukuru, Y.E.; Valeriano, D.M. **Modelagem dos ciclos hidrológicos e biogeoquímico para ecossistemas florestais-Forecos**. São José dos Campos, Instituto de Pesquisas Espaciais-INPE, jun. 1989. Programa de computador.
- Sociedade de Investigações Florestais (SIF). **Levantamento de reconhecimento-exploratório dos solos da região de Grão Mogol**. Viçosa, 1976. 155 p.
- Spanner, M.A.; Peterson, M.J.H.; Wrigley, D.H.C.; Running, S.W. Atmospheric effects on the remote sensing estimation of forest leaf area index. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment. 18.Paris, France, Oct. 1-5, 1984. **Proceedings**. Paris, s.ed. 1984, p. 1295-1308.

Strahler, A.H; Woodcock, L.E.; Smith, J.A. On the nature of models in remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, 20(12):121-139. 1986.

Swank,W.T.; Schreuder, H. T. Comparison of three methods of estimating surface area and biomass for a Forest of Young Eastern White Pine. **Forest Science**, 20(1):91-100. 1974.

Tubelis, A.; Nascimento, F.J.L. Radiação na atmosfera In: Nobel, **Meteorologia descritiva: fundamentos e aplicações**, São Paulo, Nobel, 1937, cap.3, p.30-56, 374p.

Tucker, C.J.; Sellers, P.J. Satellite remote sensing of primary production. **International Journal of Remote Sensing**, 7(11):1359-1416. 1986.

Wiegand, C.L.; Richardson, A.J.; Kanemasu, E.T. Leaf-area index estimates for wheat from Landsat and their implications for evapotranspiration and crop modeling. **Agronomy Journal**, 71(9)6-342. 1979.

APÊNDICE A

DESCRIÇÃO DO MODELO BIOGEOQUÍMICO FLORESTAL (FORECOS).

O modelo Forecos é uma adaptação do modelo biogeoquímico florestal Forest-BCG, proposto por Running e Coughan (1988). As adaptações, propostas por Soares et al.(1989), consistem basicamente na simplificação da modelagem de alguns processos, na adequação estrutural do modelo para as condições ambientais brasileiras e na metodologia de cálculo de algumas de suas variáveis motrizes. Ambos os modelos são estruturados de forma que, no futuro, possam ter suas principais variáveis motrizes detectáveis por técnicas de sensoriamento remoto. Basicamente essas variáveis restringem-se a temperatura, a radiação, a precipitação e ao índice de área foliar. As técnicas de estimativas dessas variáveis encontram-se em diversos estágios de desenvolvimento e teste (Suskind et al., 1984; citado por Running e Nemani,1989).

O índice de área foliar (IAF) é a variável estrutural da vegetação mais relacionada com as trocas de energia e massa das superfícies vegetadas, além de ser a mais correlacionada com os dados espectrais das imagens orbitais. Dessa forma, os modelos foram concebidos para serem sensíveis à esta variável que é utilizada nos cálculos de interceptação de água pelo dossel, transpiração, respiração, fotossíntese, fixação de carbono e formação de serrapilheira.

Os modelos Forest-BCG e Forecos quando estiverem inteiramente implementados poderão calcular o ciclo completo do carbono, da água e do nitrogênio para ecossistemas florestais de coníferas em escala regional. Atualmente, a parte implementada do modelo Forecos, em linguagem fortran, calcula apenas o ciclo completo da água e o ciclo do carbono.

O diagrama de fluxo em compartimentos mostra a combinação dos componentes diário e anual do modelo Forecos para o ciclo do carbono, da água e do nitrogênio (Fig. A.1). A linha sólida envolvente dos componentes diário e anual indica os limites do sistema modelado e, dentro desses limites, uma série de compartimentos são isolados de forma a representar porções de interesse do universo modelado. Os vários compartimentos são acoplados pelo princípio de conservação de massa. Os compartimentos retangulares representam recipientes de armazenamento enquanto as figuras geométricas circulares ou ovais representam subsistemas.

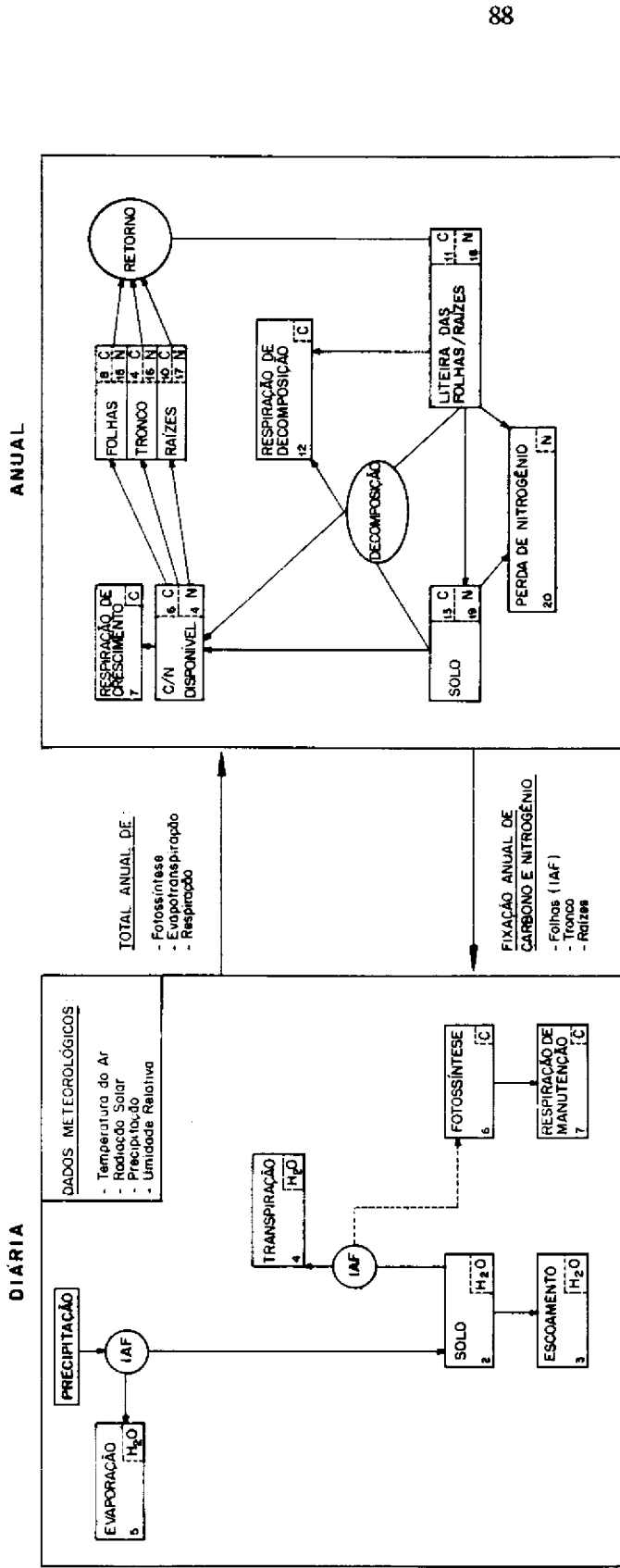


Fig. A.1 - Diagrama de fluxo em compartimentos do modelo Forecos Adaptada de Running e Coughan (1988), p.127.

Cada compartimento isolado no diagrama é definido pelo nome do processo que representa, por número(s) e pelos elementos H₂O (água), C (carbono) e N (nitrogênio) se o processo estiver relacionado, respectivamente, com o ciclo hidrológico, com o ciclo do carbono e com o ciclo do nitrogênio. O(s) número(s) dentro de cada compartimento corresponde(m) ao número da variável de estado (Ei).

A modelagem com resoluções temporais diferentes é adequada à dinâmica dos processos ambientais envolvidos. Os processos mais relacionados com as condições meteorológicas diárias e cujos incrementos possam ser significativamente estimados num curto período de tempo são calculados na parte diária do modelo. Esses processos são o fotossintético, o balanço hidrológico e a respiração de manutenção. O processo de fixação do carbono, de formação de serrapilheira e de decomposição, como não podem ser significativamente medidos durante curtos períodos de tempo, são calculados na parte anual do modelo.

O modelo apresenta algumas abstrações e simplificações nos processos modelados, no sentido de manter sua característica dinâmica de funcionamento e torná-lo aplicável para uma escala regional. O modelo considera o dossel florestal como uma folha tridimensional de profundidade proporcional ao índice de área foliar (IAF). Os fluxos ocorrem somente na dimensão vertical e assume-se que exista homogeneidade horizontal nas áreas de trabalho.

As variáveis e parâmetros utilizadas no modelo Forecos são:

- 1) Variáveis de estado ou das condições iniciais (Ei).

São dezenove variáveis que quantificam cada estrutura básica do sistema, definida pelos compartimentos do diagrama (Tabela A.1). Essas variáveis variam no tempo e os seus valores são estimados para um determinado instante do tempo tendo como base espacial a área de um hectare.

As variáveis E2 a E5 pertencem ao ciclo hidrológico e dentre essas, a única variável estimada inicialmente é a água armazenada no solo dentro da zona de absorção das raízes (E2). Para o carbono são definidos compartimentos ativos (E8 a E10) e inativos (E11 a E13) para folhas, tronco/galhos e raízes, pois apresentam dinâmicas de troca específicas, diferentes taxas de decomposição e de concentração de nutrientes. Os compartimentos ativos também são estimados para a inicialização do modelo. Para o nitrogênio também são definidos compartimentos ativos e inativos.

TABELA A.1 - VARIÁVEIS DE ESTADO (Ei) DO MODELO FORECOS

VALOR	Nº Ei (i= 2...20)	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	UNIDADE (ha)
...	2	Conteúdo de água no solo	(m ³)
0,0	3	Escoamento de água	(m ³)
0,0	4	Transpiração	(m ³)
0,0	5	Evaporação	(m ³)
0,0	6	Fotossíntese do dossel	(Kg)
0,0	7	Respiração autotrófica	(Kg)
...	8	Carbono existente nas folhas-C	(kg)
...	9	Carbono existente no tronco/galhos-C	(Kg)
...	10	Carbono existente nas raízes-C	(Kg)
0,0	11	Carbono da liteira folha/raiz	(Kg)
0,0	12	Carbono respiração de decomposição	(Kg)
0,0	13	Carbono existente no solo	(Kg)
-	14	Nitrogênio disponível-N	(Kg)
-	15	Nitrogênio disponível nas folhas-N	(Kg)
-	16	Nitrogênio tronco/galhos-N	(Kg)
-	17	Nitrogênio disponível nas raízes-N	(Kg)
-	18	Nitrogênio na liteira folha/raiz	(Kg)
-	19	Nitrogênio do solo	(Kg)
-	20	Perda de nitrogênio	(Kg)

Adaptada de Running e Coughan (1988), p.132.

- ... = Condições iniciais a serem estimadas para cada localidade num tempo t
- = Condições iniciais referentes aos processos ainda não modelados pelo programa de computador implementado.

2) Variáveis motrizes ou forçantes (Mi).

São vinte e quatro variáveis, inseridas dentro dos limites do sistema, que afetam os processos modelados (Tabela A.2). A maioria dessas variáveis, medidas ou estimadas diariamente, alimentam a parte diária do modelo e podem ser divididas em duas categorias:

a) Variáveis motrizes meteorológicas primárias ou básicas (M3 a M7)

São as variáveis registradas rotineiramente pela grande maioria das estações de coleta de dados meteorológicos. São valores pontuais medidos o mais próximo possível das áreas de estudo (APÊNDICE B).

b) Variáveis motrizes meteorológicas derivadas (M8 a M23)

São as variáveis estimadas através de princípios climatológicos à partir das variáveis motrizes primárias e de alguns parâmetros de entrada (Pi) do modelo. Os cálculos são realizados em diversas sub-rotinas e funções específicas do programa de computador utilizado.

3) Variáveis intermediárias (Ii).

São variáveis de duração temporária utilizadas nos cálculos dos processos modelados, funções ou sub-rotinas do programa de computador (Tabela A.3). O conhecimento dos valores finais dessas variáveis não se faz necessário apesar dessas variáveis serem utilizadas nos cálculos dos processos cujos valores finais são de interesse.

4) Parâmetros de entrada (Pi).

São coeficientes utilizados na definição dos processos que não podem ser diretamente medidos ou cuja medição não é muito precisa. Esses coeficientes caracterizam cada localidade geográfica e os valores médios das trocas de massa e energia de cada sistema (Tabela A.4).

TABELA A.2- VARIÁVEIS MOTRIZES (Mi) DO MODELO FORECOS

Nº Mi (i=1...24)	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	UNIDADE
1	Ano	(-)
2	Dia juliano (kyd)	(-)
3	Temperatura máxima do ar (tmx)	(°C)
4	Temperatura mínima do ar (tmn)	(°C)
5	Precipitação (pr)	(mm)
6	Umidade relativa do ar (hr)	(%)
7	Horas de brilho solar (hb)	(h/dia)
8	Temperatura média do ar (T24)	(°C)
9	Temperatura do solo (ts)	(°C)
10	Temperatura média das mínimas noturnas do ar (tnoi)	(°C)
11	Temperatura média horária diurna do ar (tdia)	(°C)
12	Déficit de pressão de vapor (def)	(mbar)
13	Déficit de umidade absoluta (dua)	(μ .g/m ³)
14	Pressão de saturação de vapor (e _s)	(mbar)
15	Declividade da curva e _s x T24 (decpsv)	(mbar/°C)
16	Declinação solar (dec)	(°)
17	Meio dia solar angular (h)	(°)
18	Radiação solar diária no topo da atmosfera (Qs)	(MJ/m ² .dia)
19	Comprimento do dia (cdia)	(h/dia)
20	Radiação global de ondas curtas (rg)	(MJ/m ² .dia)
21	Radiação líquida de ondas longas (rol)	(MJ/m ² .dia)
22	Radiação líquida (rn)	(MJ/m ² .dia)
23	Radiação solar disponível no dossel(S)	(MJ/m ² .dia)
24	Índice de área foliar (vlai)	(m ² /m ²)

Adaptada de Running e Coughan (1988), p.130

TABELA A.3- VARIÁVEIS INTERMEDIÁRIAS (li) DO MODELO FORECOS

Nº li (i=1...28)	DESCRIÇÃO DA VARIÁVEL	UNIDADE
1	Interceptação da precipitação pelo dossel	(m/dia)
2	Potencial máximo de evaporação da precipitação	(m/dia)
3	Quantidade da precipitação que infiltra no solo	(m/dia)
4	Escoamento de água na área	(cm/dia)
5	Potencial diário máximo de água na folha	(-MPa)
6	Condutância de água no dossel	(m/s)
7	Condutância de água no dossel com redução de umidade	(m/s)
8	Declividade da curva do gráfico CCw x LWP	(m/s.-MPa)
9	Resistência do dossel para o vapor de água	(s/m)
10	Transpiração de Penman-Monteith	(m/dia)
11	Condutância mínima de CO ₂ calculada	(m/s)
12	Controle da % nitrogênio no dossel na condut.CO ₂	(0-1 escalar)
13	Efeito da luz na condutância de CO ₂	(0-1 escalar)
14	Efeito da temperatura na condutância de CO ₂	(0-1 escalar)
15	Condutância de CO ₂ no dossel	(m/s)
16	Condutância de CO ₂ no mesófilo do dossel	(m/s)
17	Fotossíntese bruta diária do dossel	(kg/m ² .dia)
18	Gradiente de difusão de CO ₂ da folha para o ar	(Kg/m ³)
19	Respiração manutenção das folhas	(kg/m ² .dia)
20	Fixação de carbono líquida em 24 horas	(kg/m ² .dia)
21	Respiração de manutenção do tronco/galhos	(kg/m ² .dia)
22	Respiração de manutenção das raízes	(kg/m ² .dia)
23	Fixação de carbono para as folhas	(T/ha.ano)
24	Fixação de carbono para o tronco/galhos	(T/ha.ano)
25	Fixação de carbono para as raízes	(T/ha.ano)
26	Respiração de crescimento das folhas	kg/ano)
27	Respiração de crescimento do tronco	(kg/ano)
28	Respiração de crescimento das raízes	(kg/ano)

Adaptada de Running e Coughan (1988), p.130-131

TABELA A.4 - PARÂMETROS DE ENTRADA (Pi) DO MODELO FORECOS

VALOR	Pi	DESCRIÇÃO DOS PARÂMETROS	UNIDADE
0,5	2	Coeficiente extinção luz dossel	(-)
...	3	Capacidade armazenamento. de água no solo	(m ³)
0,5	4	Coeficiente interceptação.	(mm/lAF.dia)
...	7	Latitude	(°)
0,2	8	Albedo da superfície	(-)
0,5	9	Potencial mínimo de água na folha (LWP)	(-MPa)
0,0016	11	Condutância máxima de água dossel	(m/s)
1,65	12	LWP no fechamento estomatal	(-MPa)
0,05	13	Declivid. Condu. dossel x deficit umid. abs.	(m/s.µg.m ³)
430,0	14	Ponto de Compens fotossintética da luz.	(kJ/m ² .dia)
9730,0	15	0,5 fotossíntese máxima	(kJ/m ² .dia)
0,0008	16	Condut.ância máxima CO ₂ no mesófilo	(m/s)
0,0	17	Temperatura mínima fotossintética	(°C)
37,0	18	Temperatura máxima fotossintética	(°C)
0,00015	19	Coeficiente de respiração foliar	(kg/°C.dia.kg)
0,00004	20	Coeficiente de respiração do tronco	(kg/°C.dia.kg)
0,00020	21	Coeficiente de respiração das raízes	(kg/°C.dia.kg)
0,015	26	Fração concentração N foliar	(-)
0,25	30	Fração de fixação do carbono foliar	(-)
0,35	31	Fração de fixação do carbono no tronco	(-)
0,40	32	Fração de fixação do carbono nas raízes	(-)
0,33	40	Fração de queda carbono da liteira foliar	(-)
0,0	41	Fração de queda carbono da liteira tronco	(-)
0,40	42	Fração de queda carbono da liteira raízes	(-)
0,35	43	Fração de respiração crescimento da folha	(-)
0,30	44	Fração de respiração crescimento do tronco	(-)
0,35	45	Fração de respiração crescimento das raízes	(-)

Adaptada de Running e Coughan (1988), p.132-133.

...= Parâmetros de entrada a serem levantados para cada localidade.

Algumas vezes, a estimativa de um determinado parâmetro é um processo direto de observações realizadas em campo ou através de uma coletânea de valores publicados em literatura específica que são bem conhecidos e geralmente aceitos. Entretanto, na maioria das vezes, os parâmetros não estão disponíveis para o sistema em estudo implicando na utilização de valores levantados em outro sistema semelhante, através de consultas em referências bibliográficas nacionais ou internacionais. Dessa forma, os parâmetros do dossel não devem ser considerados específicos para uma determinada espécie e/ou localidade porque foram obtidos em diversos trabalhos e muitas das medidas realizadas em estudos individuais de folha são extrapolados como resposta média do dossel.

Para uma melhor compreensão dos processos modelados apresentar-se-á separadamente as partes diária e anual do modelo.

1) Parte diária do Modelo Forecos

A parte diária do modelo calcula, para cada dia e para cada local de simulação, o balanço hidrológico e o balanço da fotossíntese-respiração à partir dos parâmetros e das variáveis motrizes e de estado fornecidas. Os valores diários obtidos são acumulados para o período de simulação considerado.

a) Cálculo do ciclo hidrológico

A precipitação (M5) que chega até o dossel, na adaptação proposta por Soares et al. (1989), é definida apenas como água de chuva. O modelo não considera as contribuições provenientes do orvalho, da geada e da neve. Uma parte dessa precipitação é interceptada pelo dossel e o restante atinge o solo.

A interceptação é a parte da precipitação que fica retida temporariamente pelo dossel florestal até ser redistribuída para a atmosfera, pelo processo de evaporação, ou para o solo. A quantidade interceptada, calculada pela equação A.1, é diretamente proporcional ao IAF. Caso o valor obtido seja superior à precipitação assume-se que a quantidade interceptada é igual ao valor total da precipitação.

$$\text{Inter} = \text{CI} \cdot \text{IAF} \cdot 10^{-3} \quad (\text{A.1})$$

A precipitação interceptada pelo dossel pode ser conduzida para o compartimento de evaporação, caso exista energia disponível para esse processo. A precipitação não evaporada é conduzida para o compartimento do solo através do processo de gotejamento da água de chuva retida na copa e do processo de escoamento através do tronco e dos galhos.

A evaporação diária da precipitação, no modelo Forecos, é expressa equação A.2.

$$\text{Emax} = (\text{RL}/2.43e3) \quad (\text{A.2})$$

Toda a precipitação que chega direta ou indiretamente até a superfície infiltra no solo (equação A.3). O modelo não controla o escoamento superficial da precipitação porque pressupõe que a capacidade de infiltração no solo é elevada. Além disso, as características das áreas de trabalho, tais como, a predominância do relevo plano, solos profundos, povoamentos florestais maduros, presença de serrapilheira e sub-bosque permitem inferir que existe a predominância da infiltração em detrimento ao escoamento superficial.

$$\text{PIS} = (\text{Pr} \cdot 10^{-3}) - [\min(\text{Inter}, \text{Emax})] \quad (\text{A.3})$$

A água infiltrada abastece o compartimento de água do solo até alcançar a sua capacidade de armazenamento, definida pelo parâmetro P3. O excesso de água é então despejado no compartimento de escoamento que irá alimentar os cursos de água de forma lenta e controlada. O escoamento diário é calculado pela equação A.4.

$$\text{ESC} = \max\{0, [\text{SOLO H}_2\text{O}/100 + ((\text{PIS} - \text{TRANS}) \cdot 100) - \text{SOLO CAP}/100]\} \quad (\text{A.4})$$

A quantidade de água armazenada no solo, dentro dos limites teóricos de capacidade de campo e ponto de murcha, fica disponível para o processo de transpiração que, por sua vez, influencia no crescimento da floresta através do processo fotossintético. O cálculo diário do conteúdo de água no solo disponível para o dossel é realizado pela equação A.5.

$$\text{SOLO H}_2\text{O} = \min[(\text{SOLO H}_2\text{O}/100 + ((\text{PIS-TRANS}).100)), \text{SOLO CAP}/100] \quad (\text{A.5})$$

O movimento da água armazenada no solo até o sistema foliar do dossel é realizado de acordo com um gradiente de potencial de água negativo. O potencial sendo menos negativo nas raízes e mais negativo na parte aérea, a água é transportada dentro da planta até as folhas, passando destas para a atmosfera onde o potencial de água é muito mais negativo. No modelo, o potencial de água na atmosfera é dado pelo déficit de pressão de vapor (M12) e o potencial de água na folha, definido pela equação empírica A.6, origina-se a partir da condição hídrica do solo.

$$\text{LWP} = 0,2 / [(\text{SOLO H}_2\text{O} / \text{SOLO CAP}) / 100] \quad (\text{A.6})$$

O controle da perda de água contida nas folhas para a atmosfera, na forma de vapor de água, é realizado pelo processo de abertura e fechamento dos estômatos. Esse processo é complexo sendo influenciado pela luminosidade, umidade, radiação e temperatura, condições de vento, concentração de CO_2 e principalmente pelo potencial de água na folha. No modelo, o cálculo da condutância da água até a atmosfera (I6) é função do déficit de umidade absoluta (M13) e do potencial de água na folha (I5). Inicialmente, a condutância do vapor de água é calculada, pela equação A.7, em função do primeiro potencial de água na folha. Posteriormente, a condutância é modificada em função do déficit de umidade absoluta (equação A.8).

$$\text{CCw} = \text{CCmax} - \text{DCC} \cdot (\text{LWP} - (\text{P9})) \quad (\text{A.7})$$

O cálculo da variável DCC (I8), utilizada na equação anterior, é obtido pela relação $(P11)/((P12)-(P9))$.

$$CCh = CCw - (CCw \cdot DCCw \cdot ABSHD) \quad (A.8)$$

Para o cálculo da transpiração utiliza-se a equação de Penman-Monteith que considera a radiação e o déficit de pressão de vapor como condutores principais do processo (equação A.9). Nessa equação, o controle da perda de água para a atmosfera é modelado em função da resistência ao transporte do vapor de água pelo dossel (RC) e da resistência aerodinâmica (RA). A resistência do dossel para o vapor de água (RC) é o inverso da condutância de água pelo dossel com redução de umidade (CCh) calculada na equação A.8. A resistência aerodinâmica do dossel (RA) é fixada em 2,27 s/m para evitar a necessidade de dados de velocidade de vento. Assume-se um dossel bem ventilado com geometria de coníferas aciculadas.

$$TRANS = \frac{\frac{[(DECPSV \cdot S \cdot 1e6 / CDIA \cdot 3,6 \cdot 1e3) + (\rho \cdot CE) + (e_s - e) / RA]}{[DECPSV + GAMMA \cdot (1 + RC / RA)]}}{(1000 \cdot 8)} \quad IAF \cdot CDIA \cdot 3600 \quad (A.9)$$

O valor calculado da transpiração é subtraído diariamente do compartimento de água do solo atuando como um importante mecanismo de realimentação do modelo. Com uma menor disponibilidade de água do solo ocorre um aumento da pressão de água do dossel (LWP) na equação A.6 e a transpiração é reduzida pelo termo RC da equação A.9. O cálculo diário da transpiração é acumulado durante todos os dias do ano de forma a fornecer o valor anual da transpiração. O modelo calcula anualmente também os valores acumulados de escoamento, evaporação e evapotranspiração.

O modelo não considera o conteúdo de água existente na vegetação por representar pequena parte do ciclo hidrológico (Running, 1984).

b) Cálculo do balanço fotossíntese-respiração

O cálculo da fotossíntese bruta diária realizada pelo dossel é feito através da fórmula proposta por Lohammar et al. (1980) (equação A.10).

$$PSN = [(\Delta CO_2 \cdot CC \cdot CM) / (CC + CM)] \cdot IAF \cdot CDIA \cdot 3600 \quad (A.10)$$

O dióxido de carbono consumido durante o processo fotossintético é repostado através da formação de um gradiente de concentração e de resistência à transferência desse elemento do ar até os cloroplastos. O cálculo do gradiente de concentração (ΔCO_2) é realizado pela equação A.11.

$$\Delta CO_2 = 0,3 \cdot f_{conv} \cdot CCO_2 \quad (A.11)$$

O cálculo da condutância de CO_2 no dossel (CC) origina-se à partir da relação existente entre os coeficientes de difusão do CO_2 e coeficiente de difusão do vapor de água com redução de umidade do dossel para o ar (equação A.12).

$$CC = CCh \cdot 1,6 \quad (A.12)$$

A condutância de CO_2 no mesófilo (I16) é calculada a partir de funções de nitrogênio, radiação e temperatura. Essas três funções calculam escalares compreendidos entre 0 e 1 modificando a condutância máxima de CO_2 pré-fixada, determinada pelo parâmetro de entrada P16. O valor mínimo obtido, nestas três funções (I11), é utilizado no cálculo final da condutância de CO_2 no mesófilo (CM). As funções são dadas pelas equações A.13, A.14 e A.15.

$$CM_n = 67 \cdot LEAFN \quad (A.13)$$

$$CM_q = ((S \cdot 10^3) - Q_o) / ((S \cdot 10^3) + Q_{0,5}) \quad (A.14)$$

$$CM_t = (TC_{max} - T_{dia}) \cdot (T_{dia} - TC_{min}) / (TC_{max})^2 \quad (A.15)$$

O cálculo de CM é realizado pela equação A.16.

$$CM = CM_{min} \cdot CM_{max} \quad (A.16)$$

A respiração de manutenção das folhas, raízes, tronco/galhos é calculada diariamente pelas equações A.17, A.18 e A.19 respectivamente.

$$R_f = CR_f \cdot \exp(0,085 \cdot t_{noi}) \cdot CF \cdot 10^{-4} \quad (A.17)$$

$$R_r = CR_r \cdot \exp(0,085 \cdot t_{solo}) \cdot CR \cdot 10^{-4} \quad (A.18)$$

$$R_t = CR_t \cdot \exp(0,085 \cdot t_{dia}) \cdot \exp[0,67 \cdot \ln(CT \cdot 10^{-4})] \quad (A.19)$$

O valor da respiração de manutenção diária das folhas (I19) calculado é subtraído da fotossíntese bruta diária do dossel (I17) para fornecer o valor da fixação de carbono diária líquida do dossel (I20).

O carbono líquido fixado e as perdas respiratórias das folhas e do conjunto raízes e tronco/galhos são acumuladas diariamente durante o ano. A subtração do valor das perdas respiratórias acumuladas, do conjunto raízes e tronco/galhos, do valor do carbono líquido fixado fornece a medida final de carbono produzido durante o ano. O carbono fixado é então enviado para a parte anual do modelo ficando disponível para o crescimento do dossel.

2) Parte anual do Modelo Forecos.

A parte anual do modelo calcula, separadamente para cada componente do dossel, a distribuição do carbono fixado anualmente, a respiração de crescimento, a formação de serrapilheira e a taxa de decomposição.

A distribuição do carbono líquido fixado anualmente para as folhas, tronco/galhos, raízes é calculado, respectivamente, pelas equações A.20, A.21 e A.22.

$$C_f = \text{Carb.FC}_f \quad (\text{A.20})$$

$$C_t = \text{Carb.FC}_t \quad (\text{A.21})$$

$$C_r = \text{Carb.FC}_r \quad (\text{A.22})$$

O modelo assume que a respiração de crescimento é independente da temperatura. O cálculo é realizado como uma fração constante do carbono fixado para os compartimentos de folhas, tronco/galhos e raízes, utilizando-se os parâmetros P43, P44 e P45, respectivamente. O somatório da respiração de crescimento dos três compartimentos é subtraído do carbono líquido anual fixado fornecendo o valor final de carbono líquido anual fixado. O modelo também calcula, separadamente para cada compartimento, a fixação líquida anual de carbono, à partir de seus valores individualizados de carbono fixado e de respiração de crescimento.

A formação de serrapilheira também é calculada para cada compartimento como uma fração constante do carbono consumido na respiração pelos parâmetros P40, P41 e P42.

A decomposição da serrapilheira é calculada pela equação A.23.

$$\text{DECOMP} = (-3,44 + 0,1 \cdot \text{EVPT}) - ((0,0134 + 0,00147 \cdot \text{EVPT}) \cdot \text{LIG}) \quad (\text{A23})$$

O modelo fornece como resultado de saída as seguintes totalizações:

- a) Evaporação anual (cm de água/ha)
- b) Transpiração anual (cm de água/ha)
- c) Escoamento anual (cm de água/ha)
- d) Fotossíntese líquida (T/ha.ano)
- e) Respiração de manutenção (T/ha.ano)
- f) Respiração de crescimento (T/ha.ano)
- g) Produtividade primária líquida (T/ha.ano)
- h) Produtividade primária das folhas (T/ha.ano)
- i) Produtividade primária do tronco/galhos (T/ha.ano)
- j) Produtividade primária das raízes (T/ha.ano)
- k) Eficiência de uso da água
- l) Taxa de decomposição (%)

A seguir apresenta-se as diversas funções e sub-rotinas do programa de computador que são utilizadas no cálculo de algumas das variáveis motrizes derivadas.

- a) Sub-rotina FYR para o cálculo do dia juliano (M2).

O dia juliano é utilizado diretamente no cálculo da declinação solar (M16). Essa sub-rotina permite também que o modelo acesse o arquivo das variáveis meteorológicas primárias a partir de um determinado dia e mês do ano escolhido pelo usuário para o início da simulação.

- b) Sub-rotina COMDIA para a estimativa da declinação solar (M16), do meio dia solar angular (M17), da radiação solar diária no topo da atmosfera (M18) e do comprimento do dia (M19) (Sellers, 1974; Rosenberg, 1974; Ometto, 1981).

A declinação é a distância angular do sol ao norte (positiva) ou ao sul (negativa) do plano do equador da terra. É função somente do dia do ano sendo independente do ponto de observação. Os valores da declinação podem variar de $23^{\circ}27'$ a $-23^{\circ}27'$ influenciando no comprimento do dia e na radiação solar disponível no topo da atmosfera.

O meio dia solar angular é o instante no tempo em que o sol atravessa o meridiano de observação. O valor determinado, em função da latitude e da declinação solar, é utilizado nos cálculos dos valores de M18 e M19.

O comprimento do dia é a duração máxima possível de horas de brilho solar. O valor é determinado a partir da velocidade angular da terra (15° /hora) e do valor de M17.

O cálculo da radiação solar diária no topo da atmosfera é realizado à partir dos dados de latitude, constantes solares e dos valores calculados de declinação solar e do meio-dia solar angular. O valor obtido é utilizado no cálculo da radiação global de ondas curtas (M20).

- c) Sub-rotina ATMOS e funções específicas utilizadas na estimativa de outras variáveis meteorológicas derivadas.

- Cálculo da temperatura média do ar (M8).

Considerou-se a temperatura média do ar como sendo a média dos valores da temperatura máxima e mínima.

$$T_{24} = (T_{\max} + T_{\min}) / 2 \quad (\text{A.24})$$

- Cálculo da temperatura do solo (M9).

Para o primeiro dia de utilização do modelo assume-se que a temperatura do solo é igual a temperatura média diária (M8). Para os dias subsequentes, a temperatura do solo é igual a temperatura média diária do dia anterior.

- Cálculo da temperatura média das mínimas noturna do ar (M10) e cálculo da temperatura média horária diurna do ar (M11) (Running e Nemani, 1987).

$$T_{noi} = 0,303.T_{max} + 0,697.T_{min} \quad (A.25)$$

$$T_{dia} = -1,14 + 1,12.(0,606.T_{max} + 0,394.T_{min}) \quad (A.26)$$

- Cálculo do déficit de pressão de vapor (M12) e do déficit de umidade absoluta (M13) (Murray, 1967; citado por Running e Coughan, 1988).

Estas variáveis são calculadas auxiliadas por duas funções específicas do programa de computador. A primeira função estima a pressão de saturação de vapor à partir da temperatura média do ar (equação A.27).

$$e_s = 6.1078.exp[(17,269.T_{24})/(237,3+T_{24})] \quad (A.27)$$

A segunda função calcula a declividade da curva do gráfico pressão de saturação de vapor x temperatura média do ar (equação A.28).

$$DECPSV = 4097,93.e_s/(237,3+T_{24})^2 \quad (A.28)$$

Tem-se assim o cálculo o cálculo do déficit de pressão de vapor dado pela equação A.29 e o déficit de umidade absoluta dado pela equação A.30.

$$(e_s - e) = PSV(T24) \cdot (1 - URA/100) \quad (A.29)$$

$$DUA = [PSV(T24) \cdot (1 - URA/100)] \cdot 1,8e3 / [8,314 \cdot (T24 + 273,17)] \quad (A.30)$$

- Cálculo da radiação global de ondas curtas (M20).

A radiação global de ondas curtas, compreendida entre 220 e 4000 nm, é a radiação solar direta e difusa incidente numa superfície plana terrestre. A quantidade dessa radiação incidente na superfície depende do tipo e da quantidade de nuvens presente na atmosfera. Relações empíricas para cada localidade tem sido desenvolvidas de forma a estimar a radiação solar global com base na razão de insolação (porcentagem de brilho de sol possível). As constantes A e B da equação A.31 variam de local para local. Para a região de Passo Fundo-RS, Mogi Guaçu-SP e Grão Mogol-MG os valores dessas constantes são, respectivamente, a=0.18, 0.24 e 0.28 e b=0.40, 0.58 e 0.52 (Tubelis e Nascimento, 1937).

$$RG = Q_s \cdot (A + B \cdot HB/CDIA) \quad (A.31)$$

- Cálculo da radiação líquida de ondas longas (M21) e da radiação líquida (M22).

Para o cálculo dessas variáveis utiliza-se a formulação proposta por Brunt (1934, citado por Ometto, 1981). A radiação líquida fica disponível para os processos naturais que ocorrem no ambiente.

$$T_a = (T24 + 273,16) \quad (A.32)$$

$$\text{emmHg} = (1/1,33) \cdot \text{PSV}(t24) \cdot \text{URA}/100 \quad (\text{A.33})$$

$$\text{ROL} = [K \cdot 10^{-3} (\text{Ta})^4 \cdot (0,56 - 0,09 \cdot (\text{emmHg})^{1/2}) \cdot (0,1 + 0,9 \cdot \text{HB}/\text{CDIA})] \quad (\text{A34})$$

$$\text{RL} = (1 - A) \cdot \text{RG} - \text{ROL} \quad (\text{A.35})$$

- Cálculo da radiação global de ondas curtas disponível para o dossel (M23) (Running e Coughan, 1988).

Pela equação da Lei de Beer-Lambert ocorre uma atenuação da radiação global de ondas curtas que incide no dossel de acordo com os valores de IAF e do coeficiente de extinção. A radiação disponível, após essa atenuação, é expressa pela equação A.36.

$$S = \frac{\{\text{RL} \cdot 100/8,64 \cdot [1 - \exp(-(\text{IAF}/2,2) \cdot \text{EXT})]\}}{(-\text{EXT} \cdot \text{IAF}/2,2)} \quad (\text{A.36})$$

APÊNDICE B

VARIÁVEIS MOTRIZES METEOROLÓGICAS PRIMÁRIAS

Esse apêndice contém os dados meteorológicos primários utilizados como entrada no Modelo Forecos. Os dados foram coletados em 1989 nas estações meteorológicas das localidades de Passo Fundo-RS (INEMET), Mogi Guaçu-SP (DAEE) e Salinas-MG (INEMET).

As temperaturas máxima e mínima diária foram registradas em termômetros de máxima e mínima respectivamente. A temperatura média é a média aritmética dos valores da temperatura máxima e mínima.

A precipitação pluviométrica diária foi calculada somando-se os valores das medições realizadas no pluviômetro com uma frequência mínima de três vezes ao dia.

A umidade relativa compensada diária é calculada pela equação B.1.

$$URA = (URA_{12} + URA_{18} + URA_{24}) / 4 \quad (B.1)$$

Os dados de insolação diários foram registrados no heliógrafo.

TABELA B.1 - VARIÁVEIS MOTRIZES METEOROLÓGICAS PRIMÁRIAS

LOCAL :PASSO FUNDO-RS

LATITUDE: 20°15`S / 52°24`W

ALTITUDE: 685m

ESTAÇÃO METEOROLÓGICA: INEMET Nº83914

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
1	30.3	17.0	23.6	0.0	60.3	11.8
2	30.2	17.9	24.0	0.0	62.0	8.1
3	29.4	17.8	23.6	0.0	55.8	11.9
4	29.6	17.4	23.5	0.0	64.5	11.2
5	26.8	19.0	22.9	0.0	79.0	3.1
6	28.6	19.0	23.8	0.5	87.0	5.2
7	25.6	19.2	22.4	12.1	87.5	2.3
8	23.6	18.4	21.0	9.5	89.0	0.8
9	25.2	18.0	21.6	16.1	73.8	6.4
10	26.4	12.6	19.5	0.0	65.3	12.3
11	27.6	16.3	22.0	0.0	73.8	8.8
12	28.2	17.0	22.6	0.0	64.0	10.6
13	26.2	16.6	21.4	0.0	79.3	6.7
14	23.8	16.4	20.1	0.2	88.0	2.3
15	24.0	17.3	20.6	8.8	91.5	3.6
16	24.4	17.1	20.8	10.8	85.3	4.3
17	27.8	14.6	21.2	6.8	62.5	11.9
18	30.5	17.0	23.8	0.0	62.0	12.7
19	29.5	17.9	23.7	0.0	76.3	7.7
20	19.4	16.5	17.9	65.8	92.0	0.0
21	24.8	14.2	19.5	45.2	86.5	3.7
22	28.6	16.0	22.3	0.1	69.5	11.4
23	28.6	18.6	23.6	0.0	81.0	5.0
24	27.8	19.0	23.4	4.2	86.3	3.2
25	27.0	19.6	23.3	1.8	82.0	2.5
26	25.2	19.7	22.4	2.4	92.0	2.4
27	23.6	17.4	20.5	11.8	78.0	1.3
28	25.2	18.0	21.6	0.4	83.8	1.5
29	23.6	19.6	21.6	0.2	89.0	0.2
30	23.3	18.8	21.1	12.7	92.3	0.0
31	26.4	18.5	22.4	18.8	91.3	2.8
32	26.9	21.4	24.1	18.5	83.8	5.0
33	28.5	17.4	22.9	2.7	75.3	11.9
34	25.3	16.9	21.1	0.0	78.5	0.4
35	26.8	14.6	20.7	0.0	64.0	12.3
36	29.5	16.0	22.8	0.0	63.0	12.0
37	29.0	16.4	22.7	0.0	65.3	11.7
38	29.9	16.6	23.3	0.0	58.5	10.5
39	25.0	17.7	21.4	0.0	80.8	2.8

(continua)

Tabela B.1- Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
40	27.8	15.4	21.6	5.1	68.8	11.7
41	29.0	16.8	22.9	0.0	71.3	10.4
42	28.4	17.0	22.7	3.8	60.8	12.2
43	29.2	15.6	22.4	0.0	57.3	12.5
44	29.1	18.8	24.0	0.0	75.0	5.6
45	25.2	19.3	22.3	0.1	83.3	0.1
46	23.6	18.0	20.8	7.2	93.3	0.0
47	27.1	19.1	23.1	7.8	79.8	6.3
48	28.4	18.4	23.4	0.5	74.8	8.9
49	30.3	18.8	24.6	0.0	67.5	10.4
50	30.3	18.7	24.5	0.0	83.3	6.6
51	27.0	19.3	23.1	37.2	89.8	5.6
52	26.0	18.1	22.1	17.5	79.3	6.0
53	24.8	17.4	21.1	0.0	82.8	6.0
54	23.7	18.9	21.3	20.3	89.5	6.0
55	27.2	18.9	23.0	0.8	75.0	9.1
56	26.0	16.5	21.3	0.3	72.5	8.5
57	27.6	14.5	21.1	0.0	60.8	12.0
58	30.8	16.4	23.6	0.0	67.3	11.7
59	29.3	19.0	24.1	0.0	80.0	7.9
60	29.8	17.2	23.5	0.0	71.0	11.1
61	28.3	17.0	22.6	0.0	79.5	7.1
62	28.8	17.3	23.1	1.1	74.0	6.6
63	30.0	18.4	24.2	0.0	73.3	9.9
64	28.2	20.4	24.3	0.0	87.5	3.1
65	28.4	19.3	23.9	3.1	80.8	7.5
66	24.6	18.5	21.6	4.3	87.8	9.0
67	27.6	17.3	22.5	40.9	83.5	8.9
68	28.3	16.9	22.6	0.0	77.5	11.1
69	29.0	17.0	23.0	0.0	68.0	10.4
70	24.0	19.4	21.7	0.1	90.5	0.0
71	24.6	16.3	20.5	5.5	74.3	9.0
72	24.4	12.6	18.5	0.0	67.3	9.8
73	24.0	13.7	18.9	0.0	73.8	8.4
74	25.6	12.5	19.1	4.7	72.0	11.3
75	27.0	14.8	20.9	0.0	64.8	11.0
76	25.4	14.0	19.7	0.0	76.0	5.0
77	25.4	16.2	20.8	0.0	85.5	4.4
78	21.8	15.9	18.9	0.1	89.0	0.0
79	23.2	16.5	19.9	23.9	91.0	1.0
80	36.0	15.5	25.8	18.2	67.8	9.1
81	26.5	15.0	20.8	0.0	63.0	10.8
82	28.5	16.5	22.5	0.0	65.8	10.8

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
83	29.5	16.8	23.1	0.0	61.5	10.3
84	30.0	17.7	23.9	0.0	75.5	7.5
85	21.2	16.6	18.9	1.3	89.0	0.1
86	22.9	11.3	17.1	1.7	55.0	10.5
87	28.4	10.0	19.2	0.0	57.0	11.1
88	28.6	15.4	22.0	0.0	72.3	7.8
89	23.6	16.2	19.9	5.3	84.8	1.7
90	25.0	17.0	21.0	10.2	81.5	5.6
91	18.8	14.6	16.7	0.3	86.3	0.0
92	24.0	12.3	18.1	1.6	78.0	8.4
93	25.5	13.6	19.6	0.1	63.5	9.6
94	25.0	16.2	20.6	0.0	81.5	1.7
95	19.6	17.8	18.7	3.3	94.0	0.0
96	23.7	16.6	20.1	35.8	81.8	2.0
97	21.8	18.0	19.9	0.0	89.3	0.8
98	29.6	17.4	23.5	1.7	75.0	8.0
99	31.8	18.7	25.3	0.8	67.3	10.2
100	28.8	17.0	22.9	0.0	86.3	4.8
101	18.1	14.6	16.4	3.5	92.8	0.0
102	22.8	15.2	19.0	0.9	77.3	4.0
103	28.6	13.8	21.2	0.0	78.3	6.4
104	25.2	12.0	18.6	0.0	75.5	10.1
105	28.4	14.5	21.4	0.0	62.3	10.3
106	25.5	15.5	20.5	0.0	70.8	1.7
107	24.8	18.3	21.6	10.7	88.0	0.5
108	22.8	16.2	19.5	12.4	83.0	6.9
109	21.4	11.0	16.2	0.0	76.8	9.5
110	24.4	10.6	17.5	0.0	64.8	10.9
111	24.2	12.5	18.4	0.0	70.5	10.7
112	24.4	11.3	17.9	0.0	69.8	10.7
113	22.0	10.5	16.3	0.0	69.8	5.6
114	24.2	12.7	18.4	0.0	67.3	9.5
115	25.4	13.6	19.5	0.0	72.5	7.9
116	25.0	16.2	20.6	0.1	75.8	6.6
117	19.5	12.9	16.2	0.0	80.0	2.4
118	26.3	11.0	18.6	0.0	71.0	7.8
119	20.0	14.0	17.0	29.0	93.8	0.0
120	24.6	14.5	19.6	1.3	80.8	5.1
121	21.5	15.2	18.4	11.7	83.8	4.1
122	22.2	14.4	18.3	0.3	88.5	1.0
123	19.6	16.6	18.1	13.3	95.5	0.0
124	16.6	12.7	14.7	16.6	90.0	0.2
125	12.8	9.2	11.0	1.5	93.3	0.0

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
126	9.4	6.8	8.1	7.1	90.3	0.6
127	13.4	3.3	8.3	0.0	81.3	10.4
128	18.8	5.3	12.1	0.0	76.0	9.5
129	19.6	9.8	14.7	0.0	73.0	9.2
130	22.0	9.8	15.9	0.0	60.8	10.3
131	21.5	9.9	15.7	0.0	67.5	10.2
132	22.8	10.8	16.8	0.0	68.3	10.2
133	23.3	11.6	17.4	0.0	64.3	10.1
134	24.4	12.5	18.4	0.0	69.0	10.2
135	24.4	12.9	18.6	0.0	61.5	6.8
136	21.4	13.4	17.4	0.0	85.8	3.8
137	23.6	11.3	17.5	0.0	76.5	7.2
138	23.5	11.8	17.6	0.1	75.3	8.2
139	23.8	11.0	17.4	0.0	61.0	10.1
140	24.7	12.0	18.4	0.0	63.3	10.0
141	25.2	12.8	19.0	0.0	61.3	10.2
142	24.8	12.2	18.5	0.0	61.5	10.1
143	25.2	13.4	19.3	0.0	73.0	7.8
144	17.7	14.6	16.1	0.1	90.5	0.0
145	16.0	9.2	12.6	3.7	72.5	7.6
146	14.4	2.4	8.4	0.0	79.5	10.1
147	17.4	5.6	11.5	0.0	66.0	10.0
148	17.4	6.1	11.8	0.0	63.3	10.1
149	19.2	5.5	12.3	0.0	68.0	10.1
150	19.8	7.0	13.4	0.0	66.8	10.0
151	22.2	8.0	15.1	0.0	63.5	10.0
152	20.1	9.0	14.6	0.0	72.3	8.2
153	16.9	11.8	14.3	1.3	91.8	0.0
154	18.4	12.4	15.4	10.8	82.8	6.0
155	19.3	5.1	12.2	0.0	73.5	6.1
156	23.0	7.1	15.1	0.0	69.8	10.1
157	18.8	9.6	14.2	0.0	85.0	3.0
158	18.9	13.5	16.2	3.8	82.5	1.3
159	18.8	9.4	14.1	0.0	87.8	3.5
160	20.2	4.6	12.4	0.0	79.5	7.0
161	14.0	6.2	10.1	0.0	70.0	9.4
162	13.4	2.6	8.0	0.0	75.0	7.2
163	17.8	4.4	11.1	0.0	75.8	8.6
164	17.7	6.0	11.8	0.0	75.5	4.6
165	18.7	7.1	12.9	0.0	69.8	9.8
166	16.2	8.0	12.1	0.0	81.0	9.5
167	16.4	10.0	13.2	1.3	85.3	3.2
168	15.8	9.5	12.7	0.0	82.0	3.5

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
169	17.4	4.8	11.1	0.0	83.3	7.6
170	20.2	8.1	14.1	0.0	74.0	8.1
171	21.9	12.5	17.2	0.7	80.3	3.2
172	18.1	12.0	15.1	0.0	84.8	0.0
173	20.7	13.0	16.9	5.2	83.0	4.3
174	22.2	11.0	16.6	0.0	82.0	6.9
175	16.2	11.6	13.9	26.8	92.3	0.3
176	13.4	7.9	10.7	14.7	88.3	0.3
177	17.9	10.6	14.3	0.1	87.0	3.3
178	18.6	11.6	15.1	0.2	88.3	1.6
179	14.3	9.8	12.1	6.3	91.5	0.6
180	17.2	6.9	12.1	3.0	78.8	9.0
181	19.0	8.9	13.9	0.0	75.3	4.7
182	16.8	11.1	13.9	31.8	90.0	0.0
183	18.0	5.6	11.8	70.7	92.5	0.0
184	10.9	-0.2	5.4	1.6	62.0	9.6
185	11.0	5.4	8.2	17.9	96.3	0.0
186	5.6	1.4	3.5	49.4	76.3	8.5
187	8.4	-2.6	2.9	0.6	78.0	9.0
188	13.4	2.5	8.0	0.0	81.0	9.6
189	12.8	3.8	8.3	0.0	79.5	8.6
190	16.8	5.5	11.2	0.0	71.3	10.3
191	15.2	5.7	10.4	0.0	68.5	7.1
192	15.5	6.4	10.9	0.0	71.3	2.3
193	11.8	7.9	9.9	0.0	87.0	1.0
194	15.8	10.0	12.9	6.5	86.5	6.6
195	16.5	3.9	10.2	0.0	74.8	9.1
196	17.7	6.5	12.1	0.0	84.5	4.9
197	21.6	6.9	14.3	0.0	44.8	10.4
198	22.0	7.7	14.8	0.0	52.3	10.2
199	23.0	7.5	15.3	0.0	50.3	10.1
200	22.4	9.5	15.9	0.0	56.3	9.4
201	22.3	8.0	15.2	0.0	52.0	8.3
202	22.2	13.2	17.7	0.0	68.3	7.7
203	22.8	5.7	14.3	0.0	49.8	10.1
204	23.8	10.8	17.3	0.0	51.3	5.5
205	19.0	11.9	15.4	0.0	75.5	2.8
206	19.6	7.1	13.4	1.9	64.8	6.1
207	19.8	8.8	14.3	27.9	81.8	6.2
208	18.6	10.1	14.4	0.0	94.0	2.9
209	11.9	7.0	9.4	2.2	72.5	8.7
210	15.2	5.5	10.3	0.0	60.8	4.8
211	14.0	8.0	11.0	0.0	66.8	5.5

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
212	12.6	2.2	7.4	0.0	58.5	10.4
213	19.6	3.8	11.7	0.0	46.8	10.4
214	23.1	8.4	15.8	0.0	42.3	10.4
215	23.0	8.8	15.9	0.0	55.5	10.0
216	16.4	13.4	14.9	0.0	90.8	0.0
217	15.2	2.0	8.6	13.0	75.8	8.9
218	19.2	6.0	12.6	0.0	64.8	10.6
219	21.2	8.4	14.8	0.0	55.0	10.5
220	14.8	9.1	11.9	0.0	83.5	0.0
221	14.5	11.0	12.8	8.4	87.0	1.3
222	14.0	10.0	12.0	9.2	94.5	0.9
223	15.7	9.2	12.4	10.0	77.8	7.5
224	17.9	5.0	11.4	0.0	57.5	10.7
225	20.1	7.0	13.6	0.0	64.8	10.7
226	19.5	7.5	13.5	0.0	60.8	10.7
227	21.2	9.3	15.3	0.0	62.0	10.2
228	25.6	8.8	17.2	0.0	57.5	10.4
229	22.7	13.2	17.9	0.0	61.3	0.7
230	27.0	13.9	20.4	0.0	47.5	9.7
231	27.4	12.9	20.1	0.0	50.8	9.0
232	22.2	13.6	17.9	37.4	92.8	0.3
233	18.4	11.9	15.1	3.2	87.5	0.0
234	16.9	9.0	12.9	5.8	89.5	0.0
235	16.5	5.6	11.1	1.3	78.3	8.6
236	17.6	8.8	13.2	0.0	88.0	0.2
237	18.5	8.9	13.7	51.6	73.3	9.6
238	23.0	7.7	15.3	0.0	75.3	9.9
239	18.8	8.0	13.4	10.2	65.3	3.2
240	16.8	0.8	8.8	0.0	61.5	11.1
241	22.6	8.4	15.5	0.0	60.5	10.9
242	24.0	11.8	17.9	0.0	75.3	7.2
243	20.2	15.6	17.9	23.7	94.5	0.0
244	16.6	9.4	13.0	15.8	77.3	7.4
245	15.8	4.7	10.3	0.0	72.5	9.6
246	20.6	4.9	12.8	0.0	65.8	10.6
247	21.6	8.5	15.1	0.0	56.5	10.6
248	23.3	11.5	17.4	0.0	81.3	7.2
249	18.8	10.5	14.7	0.3	91.5	6.6
250	17.6	4.8	11.2	15.5	63.0	10.4
251	12.5	9.9	11.2	10.0	88.3	0.2
252	18.4	12.5	15.4	45.6	89.8	1.3
253	23.0	13.2	18.1	0.0	83.3	5.6
254	17.2	15.2	16.2	69.3	94.5	0.0

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
255	18.4	14.5	16.4	98.8	93.3	0.0
256	16.8	15.4	16.1	4.9	95.5	0.0
257	15.6	11.4	13.5	27.5	98.0	0.0
258	15.4	8.5	11.9	10.8	74.3	5.0
259	14.6	3.5	9.1	0.3	70.8	9.1
260	17.4	4.8	11.1	0.0	67.3	10.9
261	21.6	8.0	14.8	0.0	53.3	10.9
262	23.8	9.7	16.8	0.0	60.3	10.5
263	23.0	11.0	17.0	0.0	56.5	10.6
264	25.4	4.5	14.9	0.0	61.8	6.7
265	20.4	14.9	17.6	0.0	88.8	0.1
266	18.0	15.6	16.8	54.3	96.0	0.0
267	15.8	9.6	12.7	98.0	84.0	0.3
268	13.4	6.2	9.8	0.7	73.5	4.8
269	18.3	4.2	11.3	0.0	75.5	8.0
270	17.2	7.2	12.2	0.0	72.3	7.4
271	19.3	5.0	12.2	0.0	68.8	8.5
272	18.2	7.0	12.6	0.0	65.0	5.6
273	20.9	5.5	13.2	0.0	56.5	11.1
274	23.7	9.5	16.6	0.0	56.3	10.6
275	27.2	11.9	19.6	0.0	60.5	7.1
276	21.9	12.8	17.4	65.3	86.5	0.0
277	22.0	9.5	15.8	4.4	62.8	11.2
278	24.8	12.0	18.4	0.0	64.8	11.0
279	25.5	12.5	19.0	0.0	61.0	9.9
280	19.8	14.5	17.1	4.4	87.5	0.0
281	21.9	13.3	17.6	0.0	74.5	5.5
282	22.4	11.4	16.9	0.0	72.8	7.0
283	25.3	13.0	19.1	0.0	73.8	6.7
284	19.9	14.8	17.4	10.4	93.5	0.0
285	15.5	10.2	12.8	5.5	82.0	2.6
286	15.7	6.3	11.0	4.6	84.0	4.1
287	20.0	6.8	13.4	0.0	63.0	10.6
288	23.4	11.2	17.3	0.0	74.8	5.0
289	31.8	12.5	22.1	6.4	60.0	3.6
290	20.6	10.0	15.3	0.9	58.3	11.8
291	21.6	7.8	14.7	0.0	67.8	10.3
292	23.8	11.9	17.9	0.0	52.8	11.6
293	24.2	12.0	18.1	0.0	52.3	11.1
294	24.3	11.6	17.9	0.0	53.3	11.3
295	25.4	12.2	18.8	0.0	50.0	9.8
296	26.7	18.3	22.5	0.0	47.3	11.8
297	27.8	13.4	20.6	0.0	55.3	6.8

(continua)

Tabela B.1 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
298	28.8	16.0	22.4	0.0	74.8	0.8
299	18.3	10.6	14.4	31.0	93.0	0.0
300	18.2	7.0	12.6	20.3	61.8	10.6
301	22.4	7.5	14.9	0.0	58.3	12.4
302	27.4	10.8	19.1	0.0	53.3	12.1
303	28.0	15.1	21.6	0.0	67.3	4.1
304	20.2	12.4	16.3	0.0	66.0	6.5
305	23.8	7.0	15.4	0.0	43.8	12.4
306	25.4	10.4	17.9	0.0	43.5	9.2
307	22.5	13.7	18.1	1.3	75.3	3.4
308	23.6	11.6	17.6	0.5	55.0	11.4
309	23.6	9.6	16.6	0.0	44.5	12.5
310	24.6	9.4	17.0	0.0	53.5	12.2
311	27.8	12.8	20.3	0.0	45.3	9.9
312	25.7	14.5	20.1	0.0	65.3	2.7
313	22.4	16.0	19.2	6.5	91.0	3.7
314	27.9	15.1	21.5	6.5	66.3	11.8
315	29.2	17.4	23.3	0.0	71.0	5.4
316	21.6	13.2	17.4	32.0	76.0	6.9
317	13.4	9.5	11.4	2.0	95.8	0.0
318	21.4	9.5	15.4	4.3	65.0	10.2
319	27.4	11.4	19.4	0.0	52.5	12.8
320	27.8	15.1	21.4	0.0	63.0	12.3
321	29.8	15.0	22.4	0.0	58.8	12.3
322	31.4	16.8	24.1	0.0	53.0	10.6
323	31.6	17.9	24.8	0.0	51.8	11.0
324	25.2	19.7	22.4	1.1	83.0	3.2
325	31.0	16.6	23.8	0.0	60.8	10.8
326	31.6	19.0	25.3	0.0	78.0	6.5
327	27.6	17.5	22.6	15.6	84.3	5.3
328	23.6	15.2	19.4	18.4	83.3	5.5
329	24.4	12.6	18.5	4.5	65.5	10.1
330	29.1	13.4	21.3	0.0	54.0	11.9
331	25.0	18.1	21.6	0.1	62.5	1.7
332	22.4	14.5	18.4	0.0	80.5	0.3
333	28.2	15.3	21.8	0.0	65.3	11.7
334	29.6	16.5	23.1	0.0	57.8	8.1
335	30.0	17.4	23.7	0.0	55.0	11.0
336	28.0	15.8	21.9	0.0	52.3	10.2
337	29.6	15.3	22.5	0.0	48.3	11.2
338	32.0	17.2	24.6	0.0	61.5	11.5
339	33.4	19.0	26.2	0.0	51.3	11.5
340	34.0	19.6	26.8	0.0	47.3	11.9

(continua)

Tabela B.1 - Conclusão

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
341	31.6	18.9	25.3	0.0	52.3	9.2
342	30.1	19.6	24.9	0.0	67.8	1.6
343	22.9	19.3	21.1	1.5	88.0	0.0
344	29.8	19.1	24.5	8.5	90.0	2.9
345	30.8	19.4	25.1	0.8	70.8	7.9
346	33.6	20.1	26.9	0.0	70.5	9.1
347	32.0	20.6	26.3	15.2	67.8	9.0
348	29.8	18.1	24.0	0.0	67.5	12.1
349	29.8	18.6	24.2	0.0	57.3	13.0
350	31.4	15.3	23.4	0.0	46.3	13.0
351	27.8	18.9	23.4	0.0	89.8	0.4
352	22.6	15.6	19.1	41.2	68.5	8.1
353	23.2	11.5	17.4	0.0	59.5	12.9
354	24.7	11.4	18.1	0.0	54.3	13.1
355	26.6	12.0	19.3	0.0	52.3	13.0
356	29.8	15.8	22.8	0.0	47.8	11.6
357	31.9	16.1	24.0	0.0	52.0	12.1
358	32.1	19.0	25.6	0.0	64.8	5.5
359	28.3	17.6	23.0	1.2	67.8	7.3
360	25.3	18.2	21.8	0.5	69.5	1.9
361	30.0	17.5	23.8	0.0	78.5	7.6
362	25.7	18.6	22.1	0.3	90.0	0.3
363	27.8	19.0	23.4	41.2	82.8	4.8
364	27.3	17.5	22.4	13.4	90.3	3.5
365	24.6	19.7	22.1	36.4	93.3	1.1
356	29.8	15.8	22.8	0.0	47.8	11.6
357	31.9	16.1	24.0	0.0	52.0	12.1
358	32.1	19.0	25.6	0.0	64.8	5.5
359	28.3	17.6	23.0	1.2	67.8	7.3
360	25.3	18.2	21.8	0.5	69.5	1.9
361	30.0	17.5	23.8	0.0	78.5	7.6
362	25.7	18.6	22.1	0.3	90.0	0.3
363	27.8	19.0	23.4	41.2	82.8	4.8
364	27.3	17.5	22.4	13.4	90.3	3.5
365	24.6	19.7	22.1	36.4	93.3	1.1

TABELA B.2 - VARIÁVEIS MOTRIZES METEOROLÓGICAS PRIMÁRIAS

LOCAL: MOGI GUAÇU-SP
 LATITUDE: 22°18' S/47°11 W
 ALTITUDE: 600 m
 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA: DAEE (CAMPININHA)

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
1	29.4	19.2	24.3	1.2	83.0	3.7
2	29.1	18.8	23.9	48.5	87.0	2.5
3	25.2	18.7	21.9	5.0	90.0	0.0
4	23.6	19.2	21.4	4.4	90.0	0.0
5	27.7	19.8	23.8	18.1	87.0	2.5
6	27.4	19.2	23.3	32.3	90.0	2.2
7	27.7	19.1	23.4	4.4	86.0	6.2
8	28.3	19.6	23.9	19.9	84.0	4.1
9	28.6	19.9	24.3	8.9	85.0	3.7
10	26.5	19.0	22.8	0.0	85.0	0.1
11	27.6	19.0	23.3	28.9	90.0	0.2
12	28.0	18.7	23.3	5.3	87.0	2.9
13	27.2	19.5	23.3	0.0	84.0	1.8
14	29.6	19.5	24.5	8.1	85.0	6.6
15	29.2	19.1	24.1	16.7	87.0	3.8
16	29.0	19.1	24.0	1.8	82.0	10.1
17	28.2	19.7	23.9	23.4	87.0	4.9
18	28.6	19.4	24.0	2.8	87.0	3.8
19	30.8	17.5	24.1	0.0	79.0	11.3
20	31.8	17.5	24.6	30.8	80.0	8.5
21	31.8	18.5	25.1	6.8	81.0	8.0
22	30.8	19.5	25.1	1.1	84.0	2.1
23	27.4	19.7	23.5	0.0	87.0	0.9
24	31.8	18.0	24.9	6.4	81.0	7.2
25	31.6	17.2	24.4	0.0	77.0	8.8
26	32.6	17.7	25.1	0.0	70.0	11.3
27	32.5	19.0	25.8	6.8	80.0	7.7
28	32.0	16.5	24.3	0.0	75.0	11.0
29	31.8	18.4	25.1	0.0	75.0	10.3
30	33.2	19.2	26.2	0.0	69.0	11.4
31	33.0	16.7	24.8	0.0	63.0	11.7
32	34.2	18.2	26.2	3.0	71.0	9.5
33	29.8	19.2	24.5	17.4	86.0	1.7
34	29.1	18.5	23.8	10.9	90.0	4.2
35	25.2	19.7	22.4	23.4	91.0	0.1
36	28.4	18.7	23.5	0.0	81.0	0.9
37	29.7	19.0	24.3	0.0	82.0	6.2
38	27.0	17.6	22.3	2.1	89.0	4.1
39	27.8	19.5	23.6	57.5	88.0	2.8

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
40	23.4	18.9	21.1	17.1	95.0	0.0
41	24.0	18.4	21.2	26.5	93.0	0.0
42	28.4	19.8	24.1	25.7	87.0	2.8
43	27.2	20.0	23.6	0.0	84.0	1.9
44	28.8	19.1	23.9	0.4	84.0	4.9
45	29.6	19.5	24.5	14.5	88.0	4.0
46	27.2	19.9	23.5	0.0	87.0	1.1
47	31.0	18.5	24.8	5.9	80.0	8.9
48	30.0	19.3	24.6	5.8	83.0	6.7
49	31.0	19.6	25.3	0.0	79.0	6.8
50	32.5	19.0	25.3	0.0	76.0	9.9
51	32.8	19.2	26.0	2.0	72.0	11.8
52	32.0	18.6	25.3	0.0	75.0	8.5
53	31.8	20.0	25.9	0.1	74.0	11.2
54	29.6	20.1	24.8	5.8	88.0	2.8
55	32.2	20.0	26.1	9.9	84.0	8.2
56	29.1	20.2	24.6	23.9	89.0	2.6
57	30.2	18.3	24.3	0.0	83.0	6.2
58	32.6	18.4	25.5	0.0	77.0	9.0
59	31.7	18.7	25.2	0.3	80.0	6.0
60	30.9	19.0	24.9	0.0	81.0	7.3
61	30.1	18.0	24.9	0.6	83.0	6.4
62	31.6	17.5	24.5	0.0	78.0	9.8
63	32.0	18.7	25.3	0.0	82.0	8.0
64	30.4	18.2	24.3	0.0	80.0	10.0
65	30.0	17.6	23.8	0.0	79.0	8.0
66	30.1	17.4	23.8	0.0	75.0	9.4
67	29.9	18.7	24.3	0.0	78.0	8.4
68	29.6	18.7	24.1	0.0	79.0	10.1
69	29.4	17.9	23.6	0.0	74.0	10.5
70	30.8	13.8	22.3	0.0	74.0	9.8
71	32.6	14.6	23.6	0.0	71.0	8.6
72	24.8	20.0	22.4	12.5	90.0	0.0
73	24.2	19.7	21.9	36.0	94.0	0.1
74	23.2	18.0	20.6	10.1	94.0	0.0
75	28.8	19.0	23.9	1.5	91.0	3.2
76	30.6	18.5	24.5	20.3	90.0	5.0
77	32.6	18.0	25.3	0.0	75.0	10.0
78	30.8	19.0	24.9	0.0	78.0	7.5
79	31.1	19.0	25.0	0.3	79.0	7.4
80	30.7	18.2	24.4	0.0	76.0	6.1
81	29.2	19.4	24.3	0.0	82.0	1.8
82	31.4	17.2	24.3	0.0	77.0	8.9

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
83	31.6	17.1	24.3	0.0	76.0	9.3
84	31.5	18.0	24.8	1.2	82.0	6.3
85	30.4	19.5	24.9	5.4	82.0	8.1
86	29.4	18.5	23.9	1.3	82.0	3.8
87	30.2	19.7	24.9	0.9	82.0	1.9
88	30.4	18.4	24.4	2.2	82.0	6.3
89	30.6	16.7	23.6	0.0	81.0	10.0
90	32.4	17.4	24.9	0.0	76.0	9.0
91	31.7	17.3	24.5	0.9	80.0	7.5
92	28.0	18.5	23.3	1.3	86.0	3.9
93	28.6	17.0	22.8	0.4	83.0	6.8
94	30.9	15.5	23.2	0.0	76.0	9.7
95	32.6	15.8	24.2	0.0	74.0	10.4
96	32.6	18.5	25.5	0.0	76.0	9.3
97	31.0	17.6	24.3	0.0	77.0	9.6
98	32.0	17.5	24.8	0.0	80.0	7.6
99	32.2	17.5	24.8	0.0	73.0	9.6
100	32.6	15.8	24.2	0.0	73.0	9.9
101	31.9	16.8	24.3	13.2	80.0	7.9
102	28.2	19.2	23.7	0.0	89.0	1.5
103	30.0	17.3	23.6	0.0	81.0	9.0
104	29.0	18.7	23.8	0.0	82.0	2.6
105	29.4	16.0	22.7	0.0	78.0	9.3
106	30.4	16.4	23.4	0.0	76.0	9.9
107	30.6	15.7	23.1	0.0	77.0	8.7
108	28.4	16.0	22.2	18.8	83.0	2.3
109	24.2	19.0	21.6	0.0	85.0	1.3
110	25.3	14.0	19.6	0.0	76.0	9.9
111	25.9	12.1	19.0	0.0	78.0	9.9
112	26.4	10.2	18.3	0.0	75.0	10.1
113	28.0	11.5	19.8	0.0	75.0	9.3
114	27.7	13.0	20.3	0.0	76.0	9.3
115	28.4	12.0	20.2	0.0	75.0	10.0
116	29.2	11.6	20.4	0.0	77.0	9.4
117	29.0	12.6	20.8	0.0	74.0	9.3
118	30.6	13.2	21.9	0.0	74.0	8.8
119	29.2	15.7	22.4	1.5	79.0	2.2
120	28.0	15.6	21.8	0.0	86.0	7.4
121	30.2	15.7	22.9	0.0	85.0	5.1
122	27.3	19.2	23.3	0.0	86.0	1.0
123	31.8	17.4	24.6	0.4	79.0	9.1
124	26.4	19.1	22.8	21.0	90.0	3.3
125	29.5	18.7	24.1	0.8	88.0	4.5

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
126	25.3	17.2	21.3	0.0	81.0	4.8
127	20.8	10.6	15.7	0.0	81.0	4.5
128	23.8	11.0	17.4	0.0	73.0	9.6
129	24.6	9.2	16.9	0.0	73.0	9.8
130	25.4	8.9	17.1	0.0	76.0	9.8
131	25.7	8.6	17.4	0.0	75.0	9.5
132	25.8	8.1	16.9	0.0	76.0	8.5
133	26.3	10.0	18.1	0.0	76.0	9.4
134	27.4	9.5	18.4	0.0	70.0	9.6
135	27.0	8.4	17.7	0.0	78.0	8.2
136	26.4	10.3	18.3	0.0	75.0	9.4
137	25.6	6.9	16.3	0.0	75.0	9.4
138	25.6	9.6	17.6	0.0	79.0	7.8
139	27.3	11.0	19.1	0.0	76.0	9.2
140	26.4	9.6	18.0	0.0	75.0	8.8
141	26.0	9.0	17.5	0.0	81.0	7.5
142	27.0	10.7	18.8	0.0	82.0	8.0
143	27.4	10.4	18.9	0.0	80.0	8.2
144	28.4	8.9	18.6	0.0	77.0	9.0
145	26.5	9.5	18.0	0.5	84.0	5.1
146	21.6	11.0	16.3	0.0	83.0	6.1
147	19.2	4.6	11.9	0.0	83.0	3.2
148	21.2	10.5	15.8	0.0	75.0	8.1
149	24.1	6.0	15.0	0.0	77.0	8.9
150	24.5	7.1	15.8	0.0	79.0	6.4
151	26.0	9.4	17.7	0.0	78.0	7.0
152	27.4	9.9	18.6	0.0	82.0	6.6
153	27.4	10.7	19.0	0.0	79.0	7.9
154	26.8	11.5	19.1	0.0	80.0	3.9
155	27.6	11.7	19.6	0.0	78.0	8.4
156	27.6	12.0	19.8	0.0	81.0	6.6
157	28.3	11.7	20.0	0.0	79.0	7.5
158	28.7	11.8	20.3	4.4	70.0	7.0
159	25.0	15.9	20.4	1.2	85.0	0.7
160	27.3	12.3	19.8	0.0	86.0	5.6
161	22.2	14.5	18.3	2.8	93.0	0.6
162	16.4	12.5	14.4	9.8	94.0	0.0
163	21.0	10.4	15.7	0.0	80.0	4.8
164	22.8	8.3	15.5	0.0	77.0	8.9
165	22.0	6.3	14.1	0.0	79.0	8.9
166	22.8	5.0	13.9	0.0	75.0	8.4
167	18.2	6.5	12.3	1.0	92.0	2.7
168	23.0	8.3	15.6	0.0	86.0	2.9

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
169	24.4	8.0	16.2	0.0	84.0	6.4
170	26.4	8.8	17.6	0.0	80.0	8.9
171	26.0	9.5	17.8	0.0	77.0	7.6
172	24.6	8.6	16.6	0.0	79.0	7.3
173	26.3	12.6	19.4	0.0	81.0	7.9
174	27.9	8.5	18.2	0.0	78.0	8.8
175	26.1	9.6	17.8	3.4	85.0	1.5
176	21.5	12.0	16.8	0.0	90.0	2.2
177	19.4	10.4	14.9	0.0	92.0	3.8
178	23.6	6.6	15.1	0.0	83.0	6.7
179	16.4	7.7	12.0	1.5	92.0	0.0
180	23.4	10.4	16.9	0.0	83.0	6.4
181	23.6	4.5	14.0	0.0	86.0	0.3
182	29.2	7.5	18.3	0.0	79.0	8.9
183	29.2	9.7	19.4	0.0	78.0	7.7
184	25.9	11.2	18.5	0.0	79.0	8.8
185	27.4	10.5	18.9	0.0	76.0	8.3
186	28.2	13.0	20.6	0.0	74.0	6.3
187	15.6	10.7	13.1	0.0	73.0	0.0
188	18.4	8.8	13.6	0.0	74.0	1.4
189	18.8	9.4	14.1	0.0	74.0	7.5
190	21.0	4.5	12.8	0.0	72.0	9.0
191	21.8	4.0	12.9	0.0	71.0	8.9
192	21.8	2.8	12.3	0.0	71.0	7.8
193	22.4	3.3	12.8	0.0	72.0	7.0
194	25.6	3.3	14.4	0.0	70.0	8.9
195	25.8	4.4	15.1	0.0	69.0	8.9
196	25.3	4.2	14.8	0.0	68.0	8.9
197	24.2	6.5	15.3	0.0	74.0	6.5
198	25.4	4.5	14.9	0.0	75.0	7.5
199	25.3	3.6	14.4	0.0	67.0	9.2
200	24.4	2.8	13.6	0.0	70.0	9.1
201	25.2	4.0	14.6	0.0	72.0	9.1
202	26.4	3.5	14.9	0.0	65.0	9.1
203	26.8	3.4	15.1	0.0	65.0	9.1
204	28.0	4.0	16.0	0.0	64.0	9.1
205	29.9	5.4	17.6	0.0	58.0	8.9
206	20.6	10.4	15.5	0.2	77.0	0.2
207	27.7	13.4	20.5	1.0	80.0	0.8
208	27.9	12.2	20.0	24.6	84.0	5.4
209	20.2	16.7	18.4	3.1	90.0	0.6
210	27.6	12.2	19.9	2.6	85.0	7.4
211	20.0	14.7	17.3	43.3	91.0	0.0

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
212	24.0	13.4	18.7	0.0	82.0	7.1
213	24.3	7.2	15.8	0.0	79.0	7.7
214	25.4	7.4	16.4	0.0	76.0	9.8
215	25.2	6.7	15.9	0.0	77.0	9.8
216	26.0	6.4	16.2	0.0	72.0	9.8
217	25.3	8.2	16.8	0.0	73.0	2.7
218	24.6	11.5	18.0	0.0	76.0	9.7
219	25.6	7.4	16.5	0.0	75.0	9.3
220	28.3	8.7	18.5	0.0	71.0	9.4
221	27.4	9.4	18.4	0.0	73.0	5.1
222	24.8	13.1	18.9	0.0	69.0	6.7
223	22.0	5.7	13.8	0.0	71.0	9.9
224	22.2	8.7	15.4	0.0	71.0	9.9
225	24.8	6.4	15.6	0.0	66.0	10.1
226	26.8	6.4	16.6	0.0	63.0	10.0
227	26.0	5.7	15.8	0.0	68.0	10.0
228	27.6	7.2	17.4	0.0	66.0	10.0
229	28.6	8.5	18.5	0.0	64.0	9.6
230	29.0	10.3	19.6	0.0	65.0	8.8
231	29.7	12.9	21.3	0.0	56.0	10.0
232	30.2	11.0	20.6	0.0	62.0	7.3
233	25.5	14.7	20.1	5.7	74.0	0.8
234	31.2	17.5	24.3	9.0	74.0	6.2
235	25.0	16.1	20.5	0.0	81.0	3.1
236	31.0	12.5	21.8	0.0	72.0	9.4
237	25.6	15.3	20.4	6.4	86.0	3.2
238	27.7	12.7	20.2	0.0	78.0	9.9
239	31.4	13.2	22.3	0.3	80.0	8.3
240	23.0	14.0	18.5	0.0	78.0	8.8
241	26.9	9.4	18.1	1.5	74.0	10.3
242	28.2	13.3	20.8	0.0	67.0	10.4
243	29.8	13.1	21.4	1.2	68.0	10.2
244	23.3	17.1	20.2	6.2	88.0	0.3
245	22.8	12.2	17.5	0.0	74.0	10.0
246	24.1	6.7	15.4	0.0	65.0	10.2
247	27.3	8.1	17.7	0.0	65.0	8.6
248	22.8	12.8	17.8	1.3	85.0	2.3
249	26.7	12.9	19.8	5.0	84.0	3.7
250	26.3	16.9	21.6	0.0	81.0	6.0
251	32.6	14.9	23.8	6.1	82.0	1.4
252	25.3	17.1	21.2	22.1	89.0	2.6
253	26.8	17.1	21.9	7.7	85.0	8.7
254	31.5	16.6	24.0	0.0	77.0	9.0

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
255	32.5	18.9	25.7	0.0	79.0	6.6
256	24.5	19.1	21.8	7.1	94.0	1.0
257	21.6	18.8	20.2	10.0	95.0	0.0
258	22.0	15.8	18.9	0.0	84.0	4.2
259	23.5	11.0	10.7	0.0	75.0	10.4
260	22.0	7.5	14.8	0.0	66.0	8.2
261	24.5	7.9	16.2	0.0	65.0	10.0
262	27.6	8.0	17.8	0.0	70.0	10.1
263	28.6	13.0	20.8	0.0	72.0	9.8
264	30.5	11.4	20.9	0.0	68.0	9.9
265	30.5	13.5	22.0	0.0	69.0	8.9
266	33.5	14.0	23.8	0.0	64.0	9.3
267	34.3	16.2	25.3	0.0	61.0	9.7
268	22.7	16.3	19.5	0.0	79.0	0.1
269	15.6	13.5	14.5	17.0	89.0	0.0
270	22.5	8.1	15.3	0.0	88.0	2.8
271	25.2	14.2	19.7	0.0	78.0	3.8
272	25.4	14.2	19.8	0.0	77.0	2.9
273	25.7	15.3	20.5	0.0	71.0	8.9
274	28.3	12.1	20.2	0.0	69.0	9.4
275	30.4	12.1	21.3	0.0	65.0	11.0
276	31.3	13.8	22.5	1.0	70.0	9.5
277	24.8	16.9	20.8	0.0	83.0	3.0
278	28.5	11.6	20.0	0.0	69.0	10.5
279	30.1	11.7	20.9	0.0	72.0	8.4
280	30.9	11.3	21.1	0.0	67.0	10.6
281	28.9	12.3	20.6	0.0	66.0	5.3
282	26.1	15.2	20.6	0.0	76.0	4.2
283	30.9	12.9	21.9	0.0	70.0	10.0
284	28.7	16.5	22.6	0.0	81.0	3.8
285	24.5	17.7	21.1	0.0	83.0	0.2
286	25.9	14.3	20.1	0.0	61.0	10.9
287	24.7	9.1	16.9	0.0	65.0	11.1
288	23.9	10.1	17.0	0.0	73.0	4.2
289	28.3	12.6	20.4	0.0	73.0	9.5
290	29.5	12.7	21.1	0.0	66.0	10.8
291	26.8	12.4	19.6	0.0	62.0	10.6
292	27.5	10.3	18.9	0.0	64.0	11.1
293	30.3	11.0	20.6	0.0	66.0	10.0
294	29.6	13.9	21.8	0.0	69.0	10.2
295	29.2	13.0	21.1	0.4	74.0	8.6
296	29.3	12.0	20.6	0.0	67.0	11.1
297	31.8	11.7	21.8	0.0	65.0	10.0

(continua)

Tabela B.2 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
298	34.7	14.7	24.7	0.0	64.0	10.7
299	33.3	20.1	26.7	32.5	63.0	7.9
300	24.8	17.8	21.3	0.6	86.0	0.7
301	27.7	14.1	20.9	0.0	71.0	11.8
302	30.8	12.3	21.5	0.0	69.0	11.3
303	33.1	15.1	24.1	0.0	66.0	10.8
304	32.5	16.5	24.5	0.0	64.0	9.2
305	25.2	14.8	20.0	0.0	65.0	11.5
306	28.4	9.6	19.0	0.0	65.0	11.8
307	29.2	11.9	20.5	2.3	84.0	5.1
308	25.3	16.0	20.6	1.6	90.0	1.1
309	29.6	17.8	23.7	0.0	66.0	11.3
310	30.9	12.1	21.5	0.0	60.0	11.1
311	31.9	12.9	22.4	0.0	63.0	10.9
312	33.8	14.8	24.3	0.0	66.0	10.7
313	27.7	17.8	22.8	24.7	84.0	0.3
314	25.7	18.3	22.0	6.2	86.0	0.6
315	26.5	18.6	22.5	6.4	86.0	1.6
316	23.0	19.6	21.3	25.7	95.0	0.0
317	26.7	18.6	22.6	0.0	71.0	10.4
318	26.1	11.6	18.8	0.0	67.0	11.8
319	29.6	12.4	21.0	0.0	65.0	12.1
320	30.1	13.6	21.8	0.0	70.0	9.4
321	29.7	18.5	24.1	0.6	77.0	4.5
322	29.3	19.2	24.3	0.0	76.0	3.4
323	26.2	20.4	23.3	2.4	85.0	0.0
324	30.7	19.8	25.3	2.1	78.0	5.9
325	25.5	19.1	22.3	28.4	91.0	2.4
326	30.5	18.9	24.7	28.7	86.0	6.2
327	30.0	19.3	24.6	25.9	89.0	4.2
328	28.8	19.8	24.3	2.9	90.0	3.9
329	27.2	17.6	22.4	0.0	73.0	9.9
330	28.7	12.7	20.7	0.0	66.0	12.1
331	32.3	13.9	23.1	8.4	73.0	7.4
332	30.5	19.8	25.1	0.0	81.0	6.4
333	29.6	19.8	24.7	2.3	80.0	8.3
334	29.7	17.2	23.4	0.0	73.0	11.1
335	28.5	16.2	22.3	0.0	69.0	10.2
336	29.2	17.1	23.1	0.0	66.0	11.5
337	29.9	15.6	22.8	0.0	67.0	10.7
338	30.9	17.6	24.3	0.0	67.0	9.0
339	30.3	18.1	24.2	0.0	65.0	10.6
340	33.1	17.6	25.3	0.0	69.0	10.3

(continua)

Tabela B.2 - Conclusão

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
341	34.3	17.9	26.1	0.0	63.0	11.9
342	33.3	17.1	25.2	0.0	61.0	11.8
343	33.0	16.5	24.8	0.0	62.0	8.0
344	25.9	21.9	23.9	18.0	88.0	0.2
345	28.9	20.9	24.9	13.5	89.0	2.9
346	28.1	21.9	25.0	43.6	91.0	2.8
347	30.9	20.2	25.5	5.1	87.0	6.5
348	29.7	20.7	25.2	0.0	81.0	7.8
349	30.0	20.2	25.1	0.0	74.0	7.1
350	32.1	18.3	25.2	0.0	66.0	11.3
351	30.4	19.5	24.9	0.0	68.0	8.4
352	28.9	17.9	23.4	1.4	73.0	7.5
353	25.0	19.3	22.1	0.0	82.0	0.1
354	22.5	16.2	19.3	0.0	79.0	0.2
355	28.7	12.7	20.7	0.0	70.0	12.1
356	31.1	13.2	22.1	0.0	62.0	12.1
357	31.9	15.6	23.8	0.0	62.0	11.3
358	30.8	16.9	23.8	0.0	65.0	12.1
359	32.4	16.3	24.3	0.0	69.0	9.9
360	26.5	18.4	22.4	28.1	89.0	0.0
361	26.0	18.7	22.3	18.2	88.0	0.0
362	24.9	18.8	21.8	6.4	87.0	0.1
363	23.4	18.7	21.0	12.4	93.0	0.0
364	26.4	19.0	22.7	18.4	88.0	0.2
365	29.2	20.4	24.8	12.4	89.0	5.1

TABELA B.3 -VARIÁVEIS MOTRIZES METEOROLÓGICAS PRIMÁRIAS

LOCAL : SALINAS-MG
 LATITUDE: 16°10S/42°W
 ALTITUDE: 474 m
 ESTAÇÃO METEOROLÓGICA: INEMET N°83441

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
1	33.8	16.8	25.3	0.0	69.5	11.0
2	33.0	18.3	25.6	0.0	76.5	8.1
3	31.6	19.7	25.6	11.0	79.0	8.4
4	32.4	19.8	26.1	0.0	67.3	7.6
5	31.5	18.5	25.0	0.0	77.0	8.5
6	33.4	19.6	26.5	0.0	61.8	11.2
7	33.1	16.2	24.6	0.0	70.0	8.8
8	31.5	17.3	24.4	0.0	67.8	4.1
9	31.4	17.6	24.5	0.0	65.8	7.5
10	32.3	18.0	25.1	0.0	65.5	7.7
11	34.0	18.2	26.1	0.0	61.5	11.4
12	34.0	17.0	25.5	0.0	56.5	11.8
13	35.1	19.0	27.1	0.0	64.0	9.6
14	36.4	17.8	27.1	0.0	58.3	10.7
15	37.9	18.4	28.1	0.0	59.8	11.5
16	36.7	21.8	29.3	0.4	56.3	8.4
17	36.0	21.8	28.9	1.0	60.3	9.7
18	32.9	21.2	27.1	0.0	83.8	5.9
19	32.3	21.4	26.9	11.1	69.0	6.7
20	33.8	19.4	26.6	0.0	63.0	9.7
21	33.1	18.7	25.9	0.0	60.0	8.5
22	33.6	16.6	25.1	0.0	57.5	10.9
23	33.8	20.0	26.9	0.0	58.5	10.7
24	33.5	18.0	25.8	0.0	61.8	7.4
25	32.7	18.8	25.8	0.0	67.8	7.3
26	33.7	19.8	26.8	0.0	56.8	8.6
27	33.0	18.1	25.6	0.0	71.0	7.7
28	32.5	19.9	26.2	4.0	59.8	10.0
29	31.7	19.2	25.4	0.0	61.5	6.4
30	31.4	18.4	24.9	0.0	66.8	3.8
31	34.2	17.7	25.9	0.0	55.0	11.2
32	35.0	20.2	27.6	0.0	58.8	8.0
33	35.9	18.7	27.3	0.0	50.5	11.4
34	35.0	19.0	27.0	0.0	60.8	5.2
35	35.1	20.8	27.9	2.0	80.3	5.9
36	30.3	20.6	25.4	12.0	91.8	2.2
37	31.3	20.4	25.9	2.6	83.0	6.0
38	32.3	21.5	26.9	0.0	81.8	5.9
39	31.5	20.1	25.8	17.0	74.3	8.2

(continua)

Tabela B.3 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
40	32.1	17.5	24.8	0.0	77.3	8.8
41	32.0	19.8	25.9	0.0	76.0	10.2
42	32.9	19.2	26.1	0.0	61.8	11.6
43	33.3	17.3	25.3	0.0	66.0	11.5
44	34.2	17.0	25.6	0.0	65.5	10.8
45	34.7	17.1	25.9	0.0	63.8	10.7
46	33.1	19.4	26.3	0.0	60.0	8.9
47	34.1	21.4	27.8	0.0	54.8	8.3
48	34.5	18.6	26.6	0.0	44.3	11.4
49	34.3	17.8	26.1	0.0	50.3	11.2
50	32.9	19.0	25.9	0.0	57.5	6.2
51	34.8	22.0	28.4	0.0	53.5	8.0
52	36.0	18.8	27.4	0.0	52.3	9.1
53	36.7	20.0	28.4	0.0	71.3	9.4
54	37.0	20.2	28.6	3.8	65.3	9.7
55	36.1	19.3	27.7	0.0	49.5	9.5
56	36.1	21.4	28.8	0.0	62.5	7.9
57	36.5	19.8	28.1	0.0	51.0	9.5
58	35.0	21.0	28.0	0.0	54.3	7.3
59	35.1	17.4	26.3	0.0	48.0	11.2
60	34.9	19.0	26.9	0.0	53.0	10.1
61	34.8	18.6	26.7	0.0	58.3	9.9
62	34.7	23.0	28.9	0.0	61.5	5.7
63	35.4	21.6	28.5	0.0	53.0	6.3
64	35.1	22.7	28.9	0.0	61.5	4.0
65	35.2	21.6	28.4	0.2	65.3	4.2
66	32.1	21.4	26.8	29.0	79.8	3.4
67	31.7	21.6	26.6	1.5	82.5	3.8
68	32.1	20.4	26.3	21.6	76.0	6.1
69	34.1	20.8	27.4	0.0	82.3	6.0
70	31.5	21.6	26.6	20.0	87.3	5.2
71	31.8	22.4	27.1	61.0	83.0	5.3
72	32.4	19.4	25.9	0.2	86.0	3.9
73	32.1	19.4	25.8	58.3	83.0	5.7
74	33.7	20.8	27.3	11.8	84.0	8.1
75	31.6	20.8	26.2	16.2	74.5	8.1
76	29.7	20.4	25.1	0.0	69.0	4.8
77	29.5	19.8	24.6	1.0	79.0	7.0
78	30.1	20.8	25.4	0.4	74.3	6.1
79	28.9	18.6	23.8	2.3	81.0	6.6
80	28.9	19.0	23.9	0.0	75.8	4.9
81	28.7	18.0	23.4	0.0	77.8	2.1
82	30.7	20.4	25.6	1.1	73.8	5.8

(continua)

Tabela B.3 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
83	29.5	19.2	24.4	0.0	69.3	8.4
84	29.9	16.2	23.1	0.0	75.8	9.5
85	30.7	18.6	24.6	0.0	69.3	9.1
86	32.1	18.6	25.4	0.0	74.0	10.3
87	32.1	18.2	25.1	0.0	59.0	9.7
88	30.5	18.0	24.3	0.0	78.0	8.1
89	29.8	18.6	24.2	0.0	73.5	5.3
90	31.5	20.0	25.8	0.0	67.3	8.0
91	32.0	16.8	24.4	0.0	70.0	10.3
92	32.7	18.6	25.6	0.0	69.0	10.4
93	33.3	16.4	24.9	0.0	67.3	9.4
94	33.0	16.8	24.9	0.0	57.0	10.5
95	31.7	16.6	24.1	0.0	71.3	6.3
96	31.5	17.6	24.6	0.0	72.5	7.0
97	31.9	18.8	25.4	0.0	49.5	10.9
98	31.6	16.2	23.9	0.0	61.3	10.0
99	31.5	19.0	25.3	0.0	65.0	6.9
100	30.3	22.2	26.3	0.0	72.5	5.3
101	32.7	19.4	26.1	0.0	65.5	9.1
102	33.9	18.2	26.1	0.0	62.3	10.0
103	33.0	20.4	26.7	0.0	61.0	8.4
104	32.3	19.3	25.8	0.0	55.8	9.3
105	32.1	20.2	26.1	0.0	61.8	5.8
106	31.2	19.8	25.5	0.0	68.0	4.4
107	30.5	20.4	25.4	1.0	63.3	5.9
108	31.8	16.0	23.9	0.0	63.8	10.5
109	33.5	14.6	24.1	0.0	58.8	10.7
110	34.7	16.0	25.4	0.0	54.8	8.4
111	31.5	21.6	26.6	0.0	72.3	5.5
112	30.1	21.0	25.6	1.5	73.5	2.4
113	26.3	21.0	23.6	1.2	82.5	0.9
114	27.6	16.8	22.2	0.0	66.5	7.9
115	29.4	14.1	21.8	0.0	59.3	8.6
116	28.9	14.7	21.8	0.0	66.8	6.2
117	31.7	14.5	23.1	0.0	64.8	10.0
118	33.6	14.1	23.9	0.0	63.3	10.4
119	34.7	15.3	25.0	0.0	56.5	10.5
120	35.0	16.0	25.5	0.0	53.3	10.5
121	33.8	15.3	24.6	0.0	50.0	10.3
122	33.3	16.0	24.6	0.0	58.5	10.3
123	30.5	17.5	24.0	0.0	65.5	3.5
124	33.1	18.8	25.9	0.0	58.8	6.6
125	33.5	17.0	25.3	0.0	56.5	9.9

(continua)

Tabela B.3 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
126	34.3	15.3	24.8	0.0	58.8	10.2
127	35.9	15.3	25.6	0.0	52.8	10.4
128	27.3	15.1	21.2	4.3	78.3	0.0
129	23.1	19.4	21.3	0.0	73.8	0.0
130	25.6	17.4	21.5	0.0	72.0	3.0
131	25.6	12.3	18.9	0.0	70.8	4.1
132	26.5	13.3	19.9	0.0	74.8	3.7
133	26.1	14.5	20.3	0.0	69.5	3.6
134	27.5	16.8	22.1	0.5	71.0	7.3
135	27.7	16.4	22.1	0.0	55.8	9.2
136	27.5	14.7	21.1	0.0	56.5	10.3
137	27.7	11.3	19.5	0.0	56.8	8.4
138	28.5	14.5	21.5	0.0	54.8	6.6
139	26.8	18.2	22.5	0.0	62.8	8.9
140	23.5	17.6	20.6	0.2	79.0	0.0
141	23.7	17.6	20.6	0.0	81.5	0.0
142	25.1	17.2	21.1	0.5	73.8	2.3
143	24.6	18.6	21.6	0.0	73.5	0.0
144	25.6	18.0	21.8	0.0	74.5	0.0
145	30.1	19.0	24.6	0.0	60.5	5.0
146	31.8	15.1	23.4	0.0	61.3	7.7
147	31.7	14.7	23.2	0.0	65.8	8.9
148	29.4	17.5	23.4	0.0	62.5	8.5
149	30.5	17.2	23.9	0.0	61.3	7.1
150	27.3	14.0	20.6	0.0	71.8	3.8
151	29.1	13.9	21.5	0.0	58.5	5.7
152	28.1	14.9	21.5	0.0	60.0	8.1
153	29.1	14.7	21.9	0.0	61.5	4.4
154	30.3	17.2	23.8	0.0	60.8	8.2
155	31.1	12.9	22.0	0.0	62.5	9.0
156	28.3	12.3	20.3	0.0	63.5	10.1
157	27.7	12.3	20.0	0.0	64.5	4.5
158	28.1	18.2	23.1	0.0	64.0	1.1
159	31.3	14.3	22.8	0.0	59.8	8.5
160	32.8	13.2	23.0	0.0	58.3	10.2
161	32.4	14.1	23.3	0.0	59.0	8.3
162	31.3	16.8	24.1	0.0	59.0	9.3
163	30.0	16.4	23.2	0.0	64.3	5.2
164	24.3	18.8	21.6	0.0	63.0	0.5
165	26.4	15.3	20.9	0.0	55.8	10.2
166	24.8	10.7	17.8	0.0	64.3	5.2
167	26.8	15.1	20.9	0.0	62.8	3.4
168	24.2	16.0	20.1	0.0	68.8	0.0

(continua)

Tabela B.3- Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
169	26.4	13.7	20.1	0.0	69.3	2.2
170	24.4	17.3	20.9	1.4	65.0	0.3
171	26.3	18.0	22.1	0.0	67.0	0.8
172	29.0	16.4	22.7	0.0	61.0	5.0
173	29.3	14.7	22.0	0.0	58.8	4.1
174	28.0	17.2	22.6	0.0	65.0	0.7
175	28.0	16.8	22.4	0.0	65.0	0.7
176	31.5	16.8	24.1	0.0	59.5	10.0
177	22.9	17.7	20.3	3.5	85.5	0.7
178	28.5	17.4	22.9	25.3	75.8	7.7
179	29.5	14.7	22.1	0.0	79.5	9.9
180	32.4	16.4	24.4	0.0	70.5	9.8
181	30.3	16.6	23.4	0.0	66.5	7.5
182	29.8	19.2	24.5	0.0	64.5	10.2
183	30.5	19.4	24.9	0.0	63.0	0.0
184	30.6	16.9	23.8	0.0	61.3	8.6
185	30.1	20.3	25.2	0.0	57.5	8.7
186	30.2	16.3	23.3	0.0	57.3	10.5
187	29.6	15.5	22.6	0.0	60.0	7.2
188	24.2	14.1	19.1	0.0	60.0	0.0
189	23.3	13.9	18.6	0.0	63.5	0.0
190	24.4	18.7	21.6	0.0	62.8	1.3
191	25.9	17.0	21.4	0.0	64.3	6.6
192	27.0	14.9	20.9	0.0	63.5	9.6
193	26.8	15.2	21.0	0.0	64.5	8.3
194	27.0	10.9	18.9	0.0	65.5	10.4
195	27.8	11.5	19.6	0.0	63.0	9.9
196	29.0	9.9	19.4	0.0	58.5	10.4
197	28.8	11.9	20.4	0.0	63.5	10.5
198	26.7	12.2	19.4	0.0	66.0	9.3
199	27.7	11.5	19.6	0.0	66.0	10.0
200	27.6	12.7	20.1	0.0	64.8	9.8
201	27.8	13.5	20.6	0.0	62.5	10.4
202	28.0	13.3	20.6	0.0	67.8	8.6
203	28.6	13.3	20.9	0.0	64.3	9.4
204	29.0	10.1	19.6	0.0	60.5	10.5
205	30.2	10.6	20.4	0.0	64.3	8.0
206	32.4	13.6	23.0	0.0	63.3	8.2
207	34.2	12.9	23.6	0.0	61.3	10.3
208	35.6	15.1	25.4	0.0	59.0	8.5
209	34.0	18.9	26.4	0.0	72.0	7.2
210	36.2	18.9	27.6	0.0	79.0	6.7
211	33.8	19.5	26.6	0.0	66.0	5.6

(continua)

Tabela B.3 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
212	32.0	20.3	26.1	5.4	68.5	5.6
213	24.3	19.0	21.6	0.0	72.8	0.0
214	22.9	19.5	21.2	0.0	73.0	0.0
215	25.5	18.0	21.8	0.0	54.5	4.1
216	27.3	12.9	20.1	0.0	60.3	7.6
217	29.0	10.9	19.9	0.0	51.8	10.2
218	28.5	10.1	19.3	0.0	51.0	9.8
219	24.1	12.0	18.1	0.0	64.3	3.0
220	27.5	9.7	18.6	0.0	62.0	7.0
221	28.5	11.7	20.1	0.0	53.3	6.3
222	31.1	10.3	20.7	0.0	48.0	10.3
223	33.7	11.1	22.4	0.0	50.8	9.8
224	30.6	15.3	22.9	0.0	53.3	6.1
225	25.0	18.8	21.9	0.0	65.8	0.0
226	25.6	17.2	21.4	0.0	63.8	6.3
227	27.0	16.2	21.6	0.0	61.0	2.7
228	29.1	18.6	23.9	0.0	61.3	2.9
229	29.4	18.4	23.9	0.0	60.5	5.2
230	29.0	19.0	24.0	0.0	61.8	7.5
231	24.5	18.2	21.4	0.0	81.0	0.3
232	25.3	16.0	20.6	2.0	81.5	0.2
233	28.5	17.4	22.9	1.0	57.5	5.3
234	29.7	15.5	22.6	0.0	56.0	5.7
235	32.8	14.3	23.6	0.0	54.0	7.6
236	31.1	17.6	24.4	0.0	52.8	6.6
237	31.6	18.2	24.9	0.0	55.8	8.0
238	32.1	16.6	24.4	0.0	52.3	9.2
239	31.4	20.8	26.1	0.0	49.0	3.7
240	31.1	14.5	22.8	0.0	51.5	7.4
241	26.1	19.8	22.9	0.0	74.0	0.0
242	26.7	18.0	22.4	0.0	72.8	4.2
243	29.1	16.6	22.9	0.0	63.0	3.2
244	32.1	18.4	25.3	0.0	63.0	9.0
245	34.1	16.4	25.3	0.0	56.0	7.6
246	28.3	21.4	24.9	0.0	75.5	0.0
247	23.0	15.5	19.3	7.2	91.8	0.0
248	22.3	16.0	19.1	3.4	90.3	0.0
249	32.1	17.8	24.9	1.2	60.5	7.1
250	35.5	17.6	26.6	0.0	52.5	10.2
251	32.4	18.0	25.2	0.0	51.5	9.8
252	32.1	16.8	24.4	0.0	56.0	8.5
253	32.8	19.0	25.9	0.0	55.0	6.8
254	34.7	15.9	25.3	0.0	50.3	10.3

(continua)

Tabela B.3 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
255	36.5	16.4	26.4	0.0	43.3	10.5
256	37.5	17.1	27.3	0.0	42.0	10.2
257	38.0	17.4	27.7	0.0	34.5	10.7
258	38.8	16.2	27.5	0.0	42.8	10.1
259	38.9	18.8	28.9	0.0	49.5	9.6
260	30.7	18.2	24.4	0.0	86.0	0.0
261	23.1	16.4	19.8	2.0	72.5	0.0
262	21.1	17.8	19.4	0.0	75.5	0.0
263	30.3	17.6	23.9	0.0	57.0	7.7
264	30.5	15.9	23.2	0.0	55.8	6.1
265	32.5	16.4	24.4	0.0	51.3	9.9
266	32.8	16.1	24.4	0.0	51.3	10.4
267	34.2	15.1	24.6	0.0	50.8	10.8
268	35.8	18.2	27.0	0.0	41.8	8.8
269	33.5	16.8	25.1	0.0	57.0	8.3
270	35.3	20.2	27.8	0.0	53.8	8.4
271	34.6	18.8	26.7	0.0	53.3	9.1
272	35.1	19.8	27.4	0.0	57.0	9.1
273	35.9	19.2	27.6	0.0	59.5	8.8
274	29.5	21.2	25.4	0.0	68.8	0.6
275	26.9	19.0	22.9	0.0	69.5	0.6
276	32.6	18.6	25.6	1.5	52.5	7.4
277	35.9	17.2	26.6	0.0	49.0	9.4
278	35.2	17.8	26.5	0.0	47.0	7.9
279	32.7	21.6	27.1	0.0	46.5	8.2
280	33.3	21.2	27.3	0.0	49.0	5.6
281	35.5	19.0	27.3	0.0	55.3	8.2
282	36.7	22.0	29.4	0.0	63.5	7.1
283	33.0	21.2	27.1	2.9	71.0	5.1
284	32.8	22.0	27.4	0.0	65.3	3.1
285	31.6	20.4	26.0	0.0	81.5	0.9
286	35.5	21.6	28.6	0.7	50.5	5.8
287	33.1	21.6	27.4	0.2	80.0	3.2
288	23.9	18.2	21.1	16.6	77.5	0.0
289	30.7	18.8	24.8	0.0	83.5	2.9
290	30.0	18.6	24.3	23.2	77.0	3.6
291	26.3	19.6	22.9	0.0	89.0	0.7
292	20.1	15.1	17.6	18.8	86.5	0.0
293	26.3	14.9	20.6	0.9	65.8	5.6
294	28.0	14.3	21.1	0.0	61.5	10.0
295	32.1	17.2	24.6	0.0	56.8	8.2
296	30.6	18.2	24.4	0.0	61.5	5.2
297	30.1	21.0	25.6	0.0	64.3	3.9

(continua)

Tabela B.3 - Continuação

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
298	30.1	20.2	25.1	0.0	62.5	7.7
299	31.1	19.2	25.1	0.0	60.8	6.3
300	32.9	19.8	26.4	0.0	64.3	11.1
301	33.3	20.8	27.1	0.0	60.8	7.3
302	29.7	20.0	24.9	0.0	67.5	3.5
303	32.0	20.6	26.3	0.6	57.3	10.0
304	34.1	21.8	27.9	0.0	48.8	10.4
305	36.0	18.0	27.0	0.0	55.5	10.1
306	27.4	18.0	22.7	16.2	72.3	1.9
307	30.2	19.8	25.0	0.0	67.8	5.6
308	32.5	20.8	26.6	1.5	78.8	3.6
309	25.5	19.7	22.6	11.3	87.0	0.3
310	31.1	19.6	25.4	4.4	70.8	8.8
311	26.5	18.8	22.6	0.5	73.0	1.1
312	30.3	20.0	25.1	0.0	65.3	6.0
313	31.1	21.0	26.1	0.0	58.3	5.9
314	31.3	20.0	25.6	0.0	62.0	2.7
315	29.3	21.6	25.4	0.0	72.3	0.3
316	26.5	20.6	23.6	11.5	87.8	1.1
317	27.3	21.0	24.1	2.4	85.5	0.2
318	30.4	20.6	25.5	0.2	77.5	2.4
319	27.7	21.2	24.4	17.3	91.3	2.1
320	25.5	20.8	23.1	45.0	90.0	0.0
321	29.7	20.4	25.1	0.0	81.8	1.2
322	31.0	20.4	25.7	0.0	58.5	5.1
323	30.6	20.6	25.6	0.0	65.0	5.2
324	30.3	19.8	25.1	0.0	71.8	7.1
325	32.5	18.6	25.6	0.0	68.3	9.9
326	33.3	21.8	27.6	0.0	73.5	10.7
327	34.1	17.4	25.8	0.0	76.8	10.2
328	32.5	20.0	26.3	0.0	69.0	4.0
329	33.9	23.8	28.9	0.7	74.5	4.2
330	33.4	20.4	26.9	0.0	83.0	6.4
331	31.2	19.8	25.5	41.6	78.5	3.3
332	25.4	21.2	23.3	0.5	94.8	0.0
333	29.0	20.0	24.5	22.2	89.3	2.5
334	26.8	20.8	23.8	8.0	90.8	0.0
335	24.0	20.8	22.4	0.0	88.0	0.0
336	23.4	19.0	21.2	19.3	96.0	0.0
337	22.7	18.0	20.4	11.4	91.8	0.0
338	29.6	19.0	24.3	27.4	93.3	1.2
339	25.1	19.8	22.4	10.1	92.8	0.0
340	25.6	20.9	23.3	11.8	88.3	0.2

(continua)

Tabela B.3 - Conclusão

DIA JULIANO	TEMP. MAXIMA (°C)	TEMP. MINIMA (°C)	TEMP. MEDIA (°C)	PPT. (mm)	UMIDADE RELATIVA (%)	HORAS BRILHO (h)
341	25.8	19.6	22.7	3.2	81.3	0.2
342	27.7	19.0	23.4	0.0	82.3	4.4
343	29.5	21.1	25.3	0.0	84.0	0.0
344	30.1	20.4	25.3	55.2	81.8	6.2
345	27.2	20.8	24.0	0.0	88.5	0.4
346	26.0	19.4	22.7	6.9	90.8	0.0
347	25.2	19.8	22.5	2.2	89.0	0.0
348	26.8	19.6	23.2	5.7	93.0	0.8
349	24.1	20.4	22.3	10.0	92.3	0.0
350	22.5	19.4	20.9	75.1	94.3	0.0
351	21.3	17.0	19.1	44.8	97.3	0.0
352	22.1	18.2	20.1	32.4	97.0	0.0
353	26.2	20.6	23.4	23.7	92.8	0.0
354	24.3	19.0	21.6	4.0	95.8	0.0
355	30.7	20.4	25.6	10.0	88.0	5.4
356	29.0	20.6	24.8	4.6	92.3	1.8
357	27.9	20.8	24.4	3.5	89.0	2.2
358	25.3	20.0	22.6	7.9	91.8	0.0
359	23.8	19.8	21.8	9.6	95.0	0.0
360	27.1	18.4	22.8	25.0	85.8	0.0
361	29.0	19.3	24.1	1.0	89.3	4.0
362	28.1	18.8	23.4	8.0	79.8	1.7
363	29.6	19.7	24.6	0.0	83.0	3.8
364	28.6	18.8	23.7	2.0	74.5	4.0
365	29.1	18.7	23.9	0.0	80.3	9.1

APÊNDICE C

SIMULAÇÃO DOS VALORES DE IAF PARA A REGIÃO DE GRÃO MOGOL COM DADOS DE TEMPERATURA CORRIGIDOS PARA A ALTITUDE

Esse apêndice contém os resultados comparativos entre as simulações dos valores de índice de área foliar (IAF), para a área teste de Grão Mogol, utilizando-se dois diferentes arquivos de variáveis meteorológicas primárias (variáveis motrizes). O primeiro arquivo, composto pelas variáveis coletadas na estação meteorológica de Salinas/MG, pode ser observado na tabela b.3. O segundo arquivo incorpora correções nas variáveis diárias de temperatura média, mínima e máxima, listadas no primeiro arquivo, para a diferença de altitude existente entre a estação meteorológica de Salinas (474 m) e a área teste onde se localiza os povoamentos florestais de coníferas (1000 m). A temperatura geralmente tende a diminuir com o aumento da altitude e a estimativa mais precisa desta variável é importante para a quantificação dos processos físicos e biológicos que ocorrem nos ecossistemas florestais.

A metodologia utilizada para a correção dos dados diários de temperatura foi a seguinte:

- a) Teste de doze equações de regressões utilizadas para a estimativa das temperaturas médias mensais no Estado de Minas Gerais propostas por Coelho et al. (1973).

A estimativa da temperatura média mensal é feita, em cada uma das equações mensais correspondentes, à partir de valores de latitude, longitude e altitude para cada localidade. Os valores das temperaturas médias mensais estimados pelas equações de regressões apresentaram alta correlação com os valores das temperaturas médias mensais medidos para a estação meteorológica de Salinas no ano de 1989 ($R^2=0.997$).

- b) Determinação e aplicação dos fatores de correção nos valores diários de temperatura média, mínima e máxima para cada mês.

As doze equações de regressões foram testadas e mostraram-se adequadas para se estimar as temperaturas médias mensais na região de Salinas. Considera-se que estas equações sejam também adequadas para se estimar as temperaturas médias mensais na região de Grão Mogol uma vez que estas duas regiões estão inseridas dentro de uma mesma área climática. A variação nos valores de latitude e de longitude pode ser considerada desprezível entre as localidades de Salinas e a área teste de Grão Mogol quando comparada com a variação de altitude.

Desta forma, pode-se afirmar que as variações nos valores de temperatura mensal entre as duas localidades são basicamente decorrentes da diferença de altitude (526 m). Os fatores de correções para a altitude existentes nas doze equações de regressões mensais foram utilizados para se efetuar a correção dos valores diários da temperatura média, mínima e máxima. Estes fatores, aplicáveis respectivamente nos meses de janeiro a dezembro, estão em $^{\circ}\text{C}/526\text{m}$ e seus valores são aproximadamente -2,66, -2,63, -2,58, -2,41, -2,21, -2,27, -2,41, -2,34, -2,44, -2,61, -2,58, -2,59.

Na figura C.1 observa-se o comportamento do processo de evaporação anual, para a região de Grão Mogol, utilizando-se na simulação os dados de temperatura de Salinas e os mesmos dados de temperatura corrigidos para a diferença de altitude. Nota-se que existe um pequeno decréscimo nas taxas do processo de evaporação, à partir do IAF=7, quando se utiliza os dados corrigidos. Tal fato acontece porque com o decréscimo da temperatura média do ar ocorre um aumento no potencial de evaporação devido ao aumento da radiação líquida. Assim, o processo de evaporação passa também a ser controlado pela quantidade de precipitação interceptada que, neste caso, é sempre inferior ao potencial de evaporação da radiação.

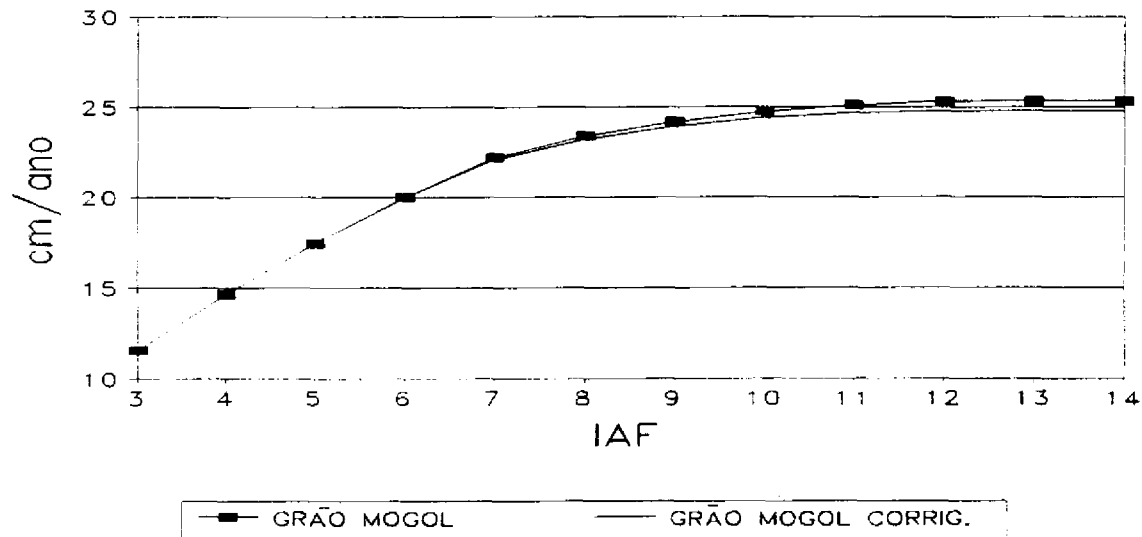


Fig. C.1 - Evaporação anual para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

Observa-se na figura C.2 o comportamento do processo de transpiração anual com o aumento do IAF com os dois arquivos de dados meteorológicos. Com os dados corrigidos nota-se um decréscimo no processo de transpiração uma vez que a temperatura média do ar é uma variável importante no cálculo dos termos da equação de Penman-Monteith (A.9). Entretanto, o padrão da curva permanece similar ao da simulação com os dados não corrigidos devido a linearidade do processo de correção. Com o decréscimo nas taxas de evaporação e transpiração obteve-se uma elevação nas taxas de escoamento embora manteve-se a similaridade entre os padrões das curvas (Fig.C.3).

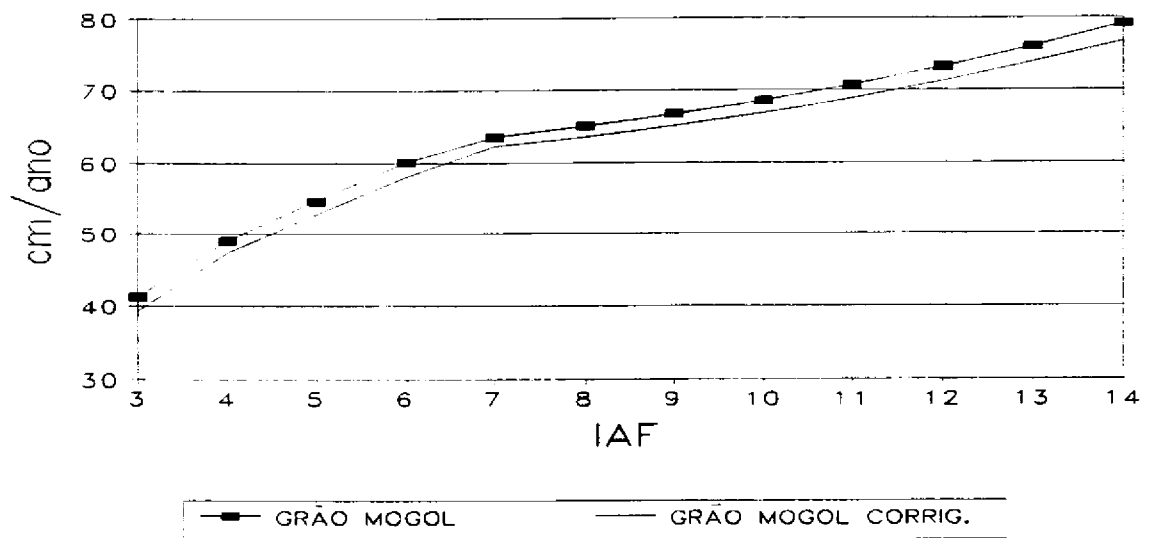


Fig. C.2 - Transpiração anual para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

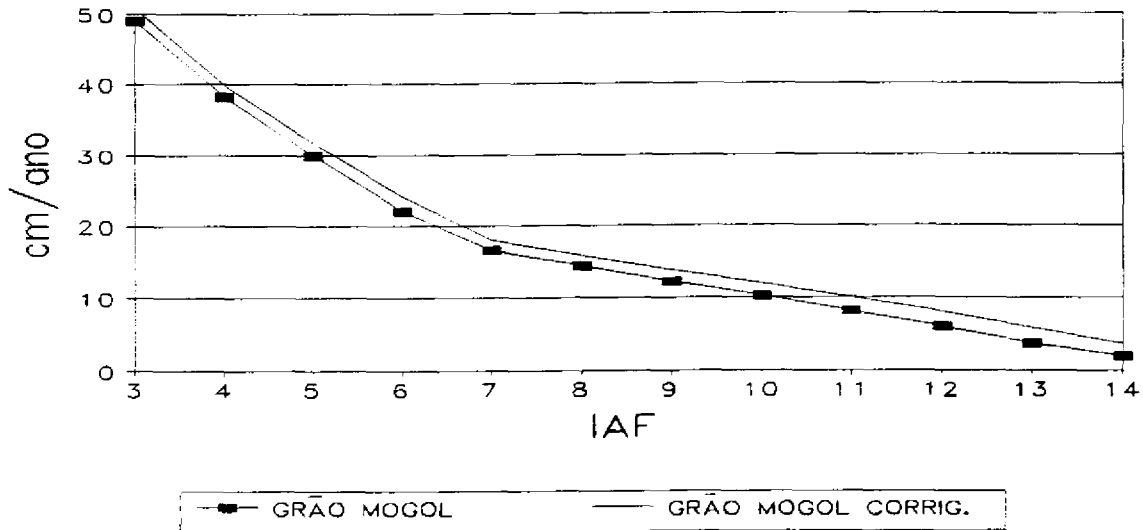


Fig. C.3 - Escoamento anual para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

Para o ciclo do carbono observa-se as maiores diferenças entre as simulações dos valores de IAF utilizando-se os arquivos meteorológicos de temperatura corrigidos e não corrigidos. Na figura C.4 observa-se o aumento nas taxas de fotossíntese líquida com a utilização dos dados de temperatura corrigidos. Tal fato está associado ao incremento no processo de condutância de CO_2 no dossel (CC) em função da maior disponibilidade de água no solo decorrente da redução nos processos de evaporação e transpiração. Além disso, o decréscimo nos valores diários de temperatura máxima do ar induz a uma elevação na condutância de CO_2 no mesófilo do dossel. Com a elevação nos processos de condutância de CO_2 ocorre uma elevação da taxa de fotossíntese bruta calculada pela equação A.10. O decréscimo nos valores da temperatura média das mínimas noturnas induz a redução da taxa de respiração de manutenção das folhas que entra no cálculo da fotossíntese líquida.

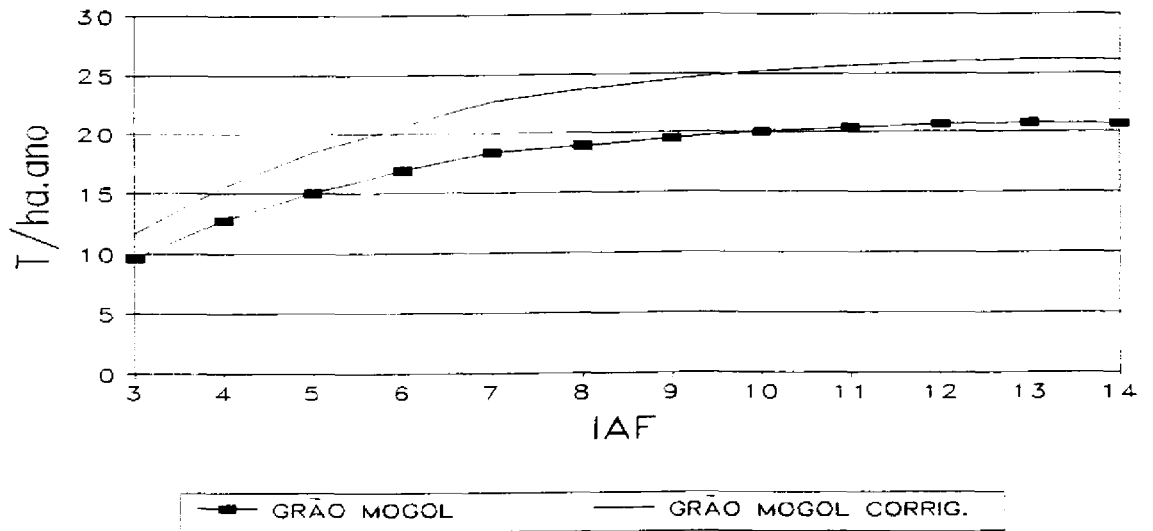


Fig. C.4 - Fotossíntese líquida para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

Observa-se, na figura C.5, o comportamento do processo de produtividade primária líquida. As taxas deste processo são mais elevadas quando se utiliza os dados corrigidos devido a elevação das taxas de fotossíntese líquida e a redução das taxas do processo de respiração de manutenção total do dossel (Fig. C.6). A respiração de manutenção das partes individualizadas do dossel depende dos valores diários de temperatura (equações A.17, A.18 e A.19).

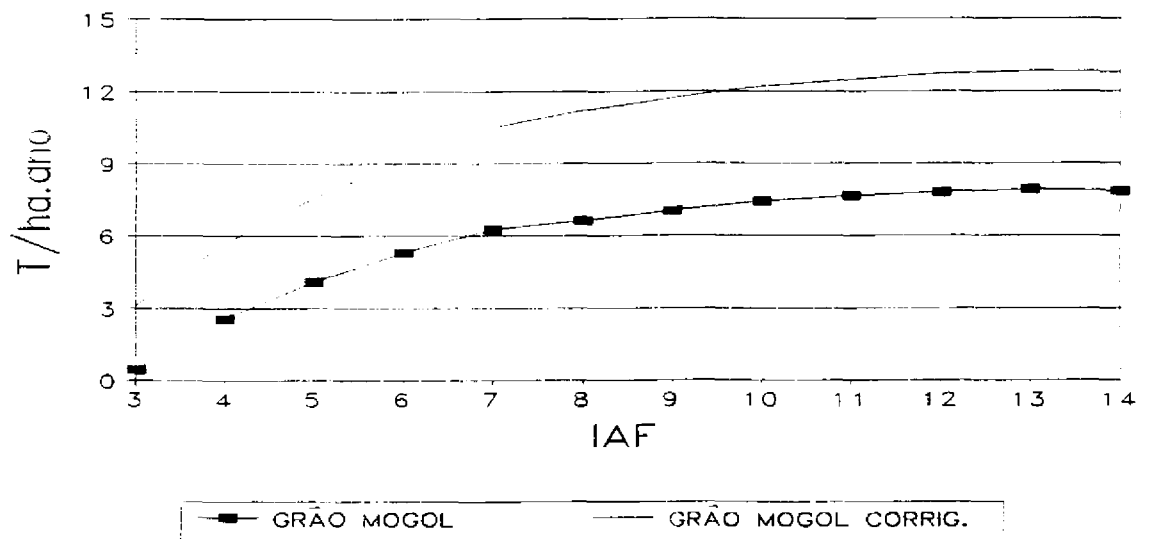


Fig. C.5 - Produtividade primária líquida para a região de Grão Mogol com o valor do IAF de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

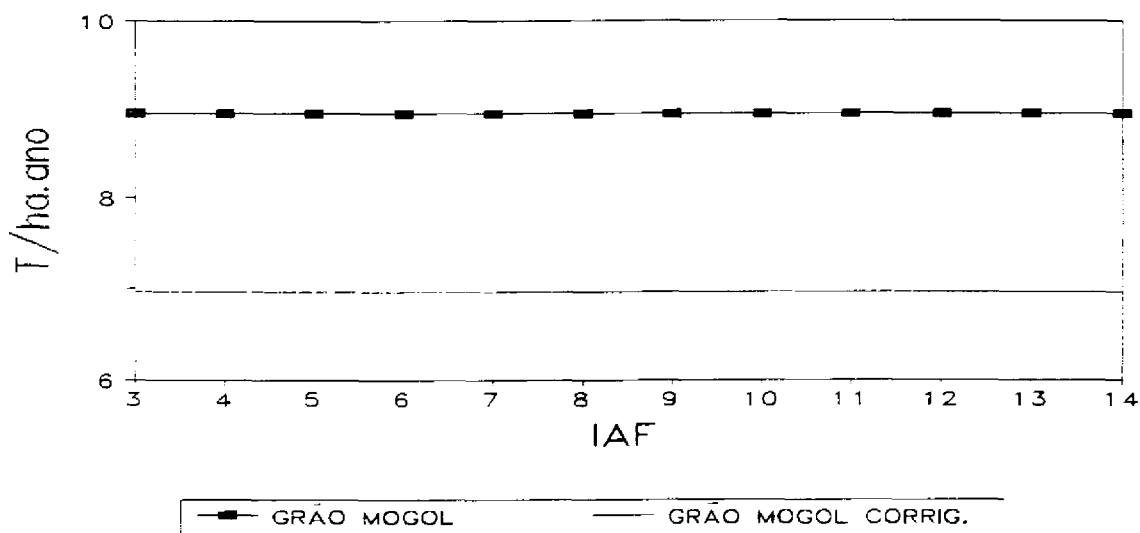


Fig. C.6 - Respiração de manutenção do dossel para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

Na figura C.7 observa-se o processo de respiração de crescimento cuja modelagem é independente da temperatura. Entretanto, o cálculo é realizado como uma fração constante do carbono fixado que é dependente da temperatura. Desta forma, para cada valor de IAF ocorre uma elevação da taxa de respiração em função da maior taxa de carbono fixado.

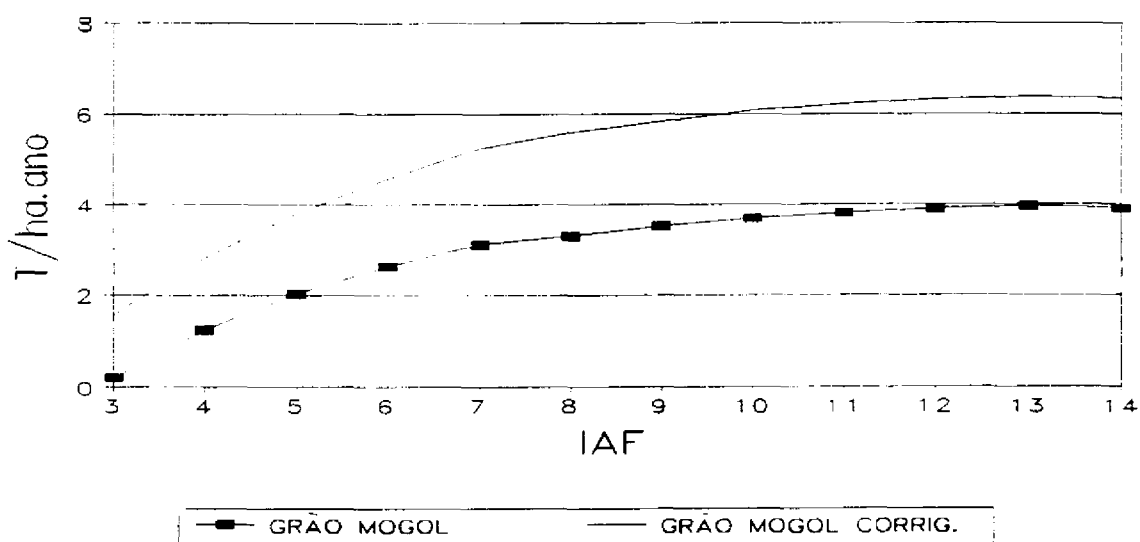


Fig. C.7 - Respiração de crescimento do dossel para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

As figuras C.8 e C.9 mostram a eficiência do uso da água pela fotossíntese, para a região de Grão Mogol, com a utilização dos dados corrigidos de temperatura. Observa-se uma maior eficiência decorrente tanto da redução do consumo de água pelo processo de transpiração quanto pelo incremento nos processos de fotossíntese líquida e de produtividade primária líquida.

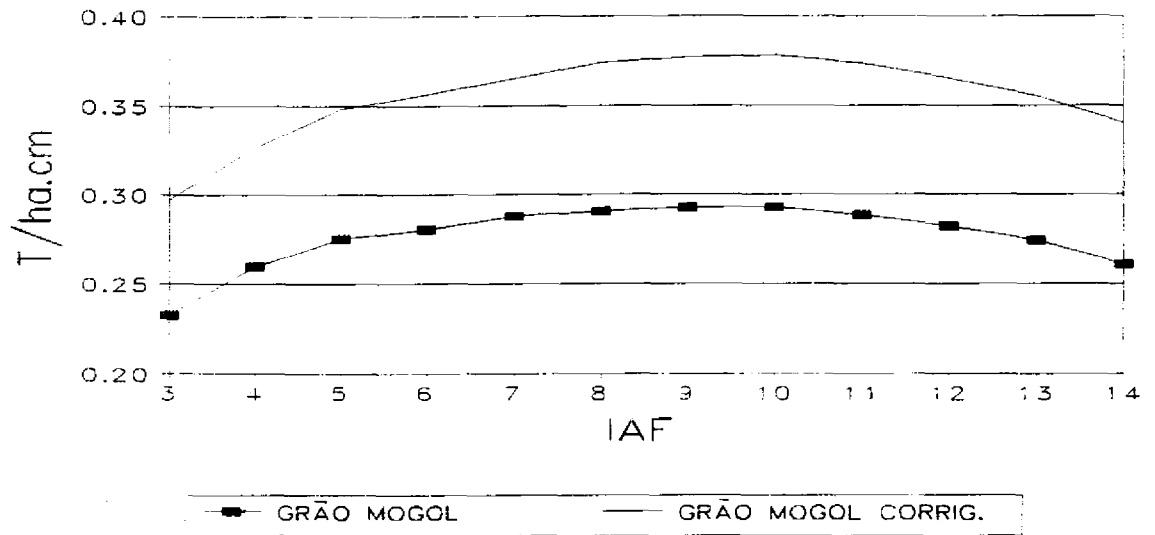


Fig. C.8 - Eficiência do uso da água (fotossíntese líquida/transpiração) para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

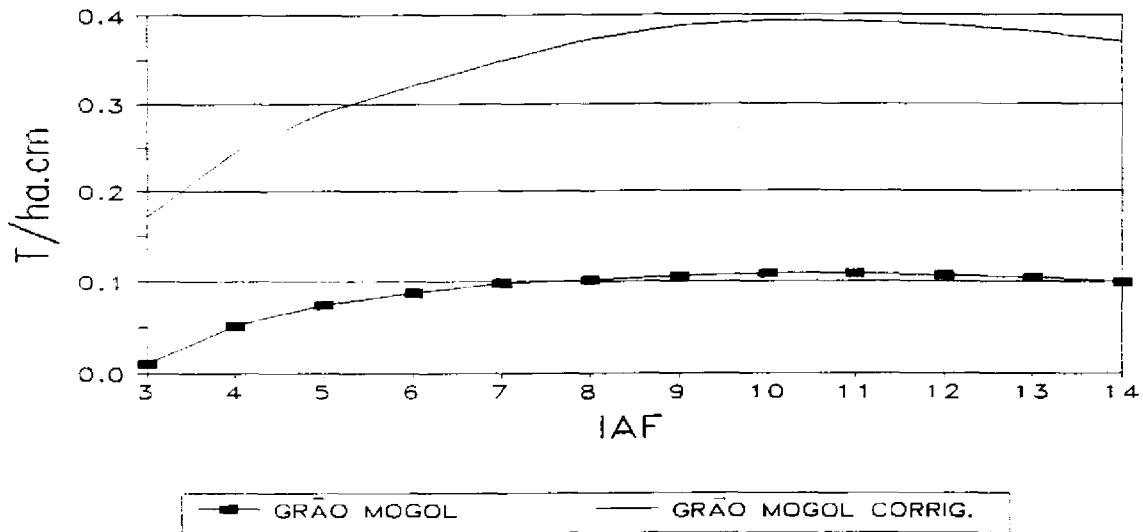


Fig. C.9 - Eficiência do uso da água (produtividade primária líquida/transpiração) para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura

Na figura C.10 observa-se o comportamento da taxa de decomposição para diferentes valores de IAF e dados de temperatura. Os padrões das curvas são similares e a amplitude entre as curvas é decorrente da redução no processo de evapotranspiração induzido pela redução nos valores diários de temperatura.

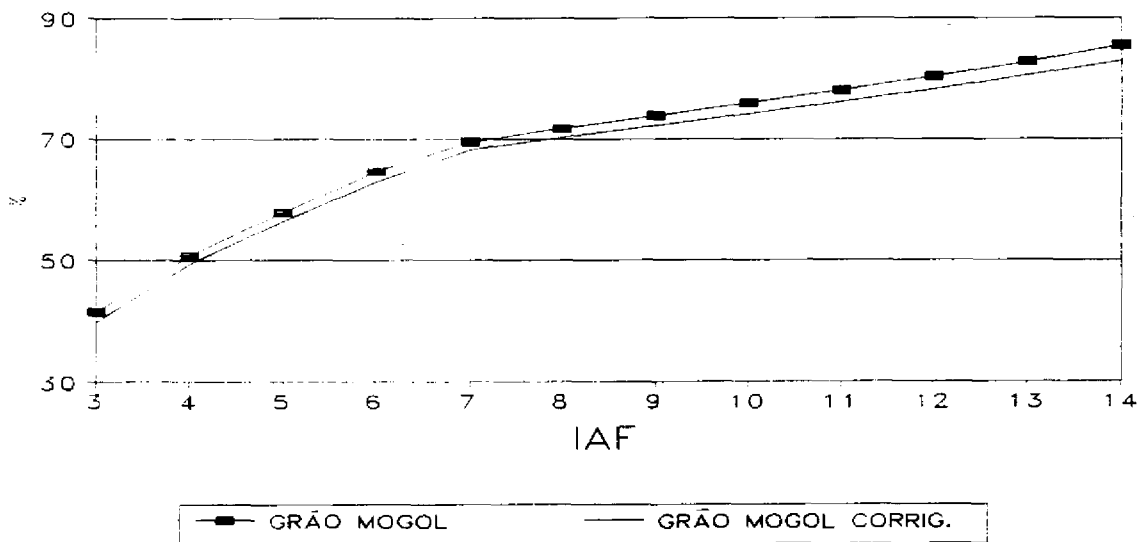


Fig. C.10 - Taxa de decomposição da lignina para a região de Grão Mogol com o valor do IAF variando de 3 a 14 e com diferentes dados de temperatura