

CARLOS RODRIGUES PEREIRA

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO  
DA CULTURA DE SOJA SOB DIFERENTES  
CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2002

**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e  
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

P436a  
2002

Pereira, Carlos Rodrigues, 1967-

Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura  
de soja sob diferentes condições ambientais / Carlos  
Rodrigues Pereira. – Viçosa : UFV, 2002.  
282p. : il.

Orientador: Luiz Cláudio Costa

Tese (doutorado) – Universidade Federal de Viçosa

1. Soja - Crescimento - Modelos matemáticos. 2. Soja -  
Radiação solar - Eficiência. 3. Soja - Cultivo - Aspectos  
ambientais. 4. Soja - Estresse hídrico. 5. Soja - Balanço  
hídrico. 6. Soja - Fotossíntese. 7. Soja - Sombreamento.  
I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

CDD 19.ed. 633.34

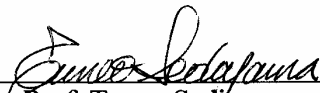
CDD 20.ed. 633.34

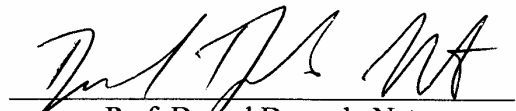
CARLOS RODRIGUES PEREIRA

**ANÁLISE DO CRESCIMENTO E DESENVOLVIMENTO  
DA CULTURA DE SOJA SOB DIFERENTES  
CONDIÇÕES AMBIENTAIS**

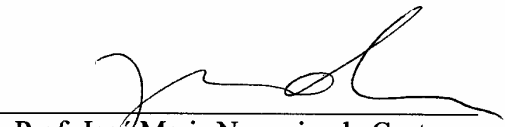
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 28 de novembro de 2002.

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Tuneso Sedyama  
(Conselheiro)

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Durval Dourado Neto

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Hélio Garcia Leite

  
\_\_\_\_\_  
Prof. José Maria Nogueira da Costa

  
\_\_\_\_\_  
Prof. Luiz Claudio Costa  
(Orientador)

Ao meu filho, Bernardo Moreira Cordeiro Rodrigues.

## AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG), pela concessão das bolsas de estudo.

Ao professor Luiz Cláudio Costa, pela orientação e amizade.

Aos professores Tuneo Sedyama e Everardo Chartuni Mantovani, pela orientação, pelas sugestões e pela amizade.

Aos professores José Maria Nogueira da Costa, Gilberto Chohaku Sedyama, Evandro Ferreira Passos, Adil Rainier Alves, Sergio Zolnier, Helio Garcia Leite e Silvana Garcia, pelas sugestões e pela amizade.

À professora Adriana Elisabet Confalone pelas sugestões e pela amizade.

Aos meus colegas de curso, na pós-graduação em Engenharia Agrícola, pelas sugestões e pela amizade.

Aos funcionários do Laboratório de Física do Solo e do Laboratório de Fertilidade de Solos da UFV, pela presteza e amizade.

Aos funcionários do Departamento de Fitotecnia, pelo apoio na condução do experimento.

Aos funcionários e técnicos do Departamento de Engenharia Agrícola, especialmente ao Carlos Antônio e Lucimar, pelo auxílio durante a tomada de dados.

Aos meus pais, Nelson Cândido Rodrigues e Hermênia Pereira Rodrigues, pelo grande incentivo.

À minha esposa, Daniela Moreira Cordeiro, pelo grande apoio.

A todos que, direta e indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

CARLOS RODRIGUES PEREIRA, filho de Nelson Cândido Rodrigues e Hermênia Pereira Rodrigues, nasceu em 23 de fevereiro de 1967, em Caratinga, Estado de Minas Gerais.

Cursou o primeiro e o segundo grau no colégio CNEC, em Caratinga-MG.

Em 1988, ingressou no curso de Agronomia, na Universidade Federal de Viçosa (UFV).

No período de 1989 a 1991, foi Diretor Promocional da COOPASUL – Cooperativa de Alunos e Servidores da UFV Ltda.

Em 1993, foi Diretor do DCE-UFV – Diretório Central dos Estudantes da Universidade Federal de Viçosa.

Em julho de 1994, graduou-se em Agronomia pela UFV.

Em março de 1995, iniciou o curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, nesta mesma Universidade.

Em 1996, foi Diretor da APG-UFV – Associação dos Estudantes de Pós-Graduação da UFV.

De junho de 1996 a junho de 1997, foi monitor II da disciplina Meteorologia e Climatologia do Departamento de Engenharia Agrícola.

Em julho de 1997, obteve o título de “Magister Scientiae”, na área de Meteorologia Agrícola, pela Universidade Federal de Viçosa.

Em agosto de 1997, iniciou o Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, em nível de Doutorado.

De novembro de 2001 a junho de 2002, foi professor substituto na Universidade Federal de Minas Gerais, nas áreas de irrigação e drenagem, máquinas e mecanização.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
<b>SÍMBOLOS E ABREVIACÕES .....</b>	<b>xi</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>xviii</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xx</b>
<b>1. INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>1</b>
1.1 Introdução .....	1
1.2 Histórico e importância da cultura de soja.....	1
1.3 Exigências climáticas da cultura de soja.....	3
1.3.1 Relações água-planta na cultura de soja .....	3
1.3.2 Uso eficiente de água pela cultura de soja .....	5
1.3.3 Temperatura .....	6
1.3.4 Fotoperíodo .....	8
1.4 Fotossíntese .....	9
1.4.1 Fotossíntese e luz .....	9
1.4.2 Fotossíntese e deficiência hídrica .....	11
1.5 Análise de crescimento .....	11
1.6 Eficiência de uso da radiação.....	14
1.7 Modelos de crescimento de culturas .....	15
1.7.1 Modelo exponencial .....	17
1.7.2 Parâmetros do clima e da cultura .....	18
1.7.3 Desenvolvimento da cultura .....	19
1.7.4 Modelos de crescimento de plantas no Brasil .....	20
1.8 Variedade cultivada Capinópolis .....	21
1.9 Objetivo deste trabalho .....	21
1.10 Esboço.....	21

	<b>Página</b>
<b>2. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS .....</b>	<b>22</b>
2.1 Introdução .....	22
2.2 Cultura.....	22
2.3 Solos.....	22
2.4 Dados meteorológicos.....	23
2.5 Experimento conduzido em 1997/98 .....	24
2.5.1 Semeadura e emergência.....	24
2.5.2 Crescimento da cultura.....	25
2.5.3 Tratamentos e delineamento experimental .....	25
2.5.4 Tratos culturais.....	26
2.5.5 Fenologia.....	26
2.5.6 Sistema de irrigação .....	26
2.5.7 Amostras e medidas para determinação do crescimento .....	29
2.5.8 Produtividade de grãos.....	30
2.5.9 Análise de crescimento .....	30
2.5.9.1 Taxa de crescimento da cultura.....	31
2.5.9.2 Taxa de crescimento relativo .....	31
2.5.9.3 Razão de área foliar.....	31
2.5.9.4 Área foliar específica .....	31
2.5.9.5 Razão de massa foliar .....	31
2.5.9.6 Índice de área foliar.....	32
2.5.9.7 Índice de colheita .....	32
2.5.9.8 Coeficiente alométrico .....	32
2.5.9.9 Taxa assimilatória líquida .....	32
2.5.9.10 Duração de área foliar.....	32
2.5.10 Eficiência de uso da água.....	33
2.5.11 Radiação no dossel.....	33
2.5.11.1 Radiação solar interceptada .....	33
2.5.11.2 Coeficiente de extinção da luz .....	34
2.5.11.3 Eficiência de utilização da radiação.....	34
2.6 Experimento conduzido em 1998/99 .....	35
2.6.1 Semeadura e emergência.....	35
2.6.2 Crescimento da cultura.....	35
2.6.3 Tratamentos e delineamento experimental .....	35
2.6.4 Tratos culturais.....	37
2.6.5 Fenologia.....	37
2.6.6 Sistema de irrigação .....	37
2.6.7 Amostras e medidas para determinação do crescimento .....	37
2.6.8 Produtividade de grãos.....	38
2.6.9 Análise de crescimento .....	38
2.6.10 Uso eficiente de água .....	38
2.6.11 Radiação no dossel.....	39

	<b>Página</b>
2.6.12 Água no solo .....	39
2.6.13 Fotossíntese .....	40
2.7 Análise estatística.....	40
<b>3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS (ATMOSFERA E SOLO).....</b>	<b>41</b>
3.1 Introdução .....	41
3.2 Condições meteorológicas .....	41
3.2.1 Radiação solar.....	41
3.2.1.1 Razão de insolação.....	41
3.2.1.2 Radiação solar global e PAR .....	43
3.2.2 Temperatura .....	47
3.2.3 Pressão de vapor d'água .....	51
3.2.4 Umidade relativa .....	51
3.2.5 Precipitação e evapotranspiração .....	52
3.2.6 Sombreamento dos tratamentos .....	56
3.2.7 Dados climatológicos médios mensais e decendiais.....	57
3.3 Condições químicas e físicas do solo .....	59
3.4 Condições de umidade no solo .....	59
3.5 Resumo e conclusões .....	65
<b>4. DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DA CULTURA DE SOJA. ....</b>	<b>66</b>
4.1 Introdução .....	66
4.2 Desenvolvimento .....	66
4.2.1 Experimento conduzido em 1997/98 .....	66
4.2.2 Experimento conduzido em 1998/99 .....	68
4.2.3 Diferenças entre os experimentos realizados em 1997/98 e 1998/99 ...	68
4.3 Crescimento .....	69
4.3.1 Crescimento da cultura.....	69
4.3.1.1 Produção de matéria seca total.....	69
4.3.1.2 Taxa de produção de matéria seca total .....	72
4.3.1.3 Taxa de crescimento relativo .....	75
4.3.1.4 Taxa assimilatória líquida .....	78
4.3.2 Crescimento da área foliar .....	83
4.3.2.1 Índice de área foliar.....	83
4.3.2.2 Taxa de crescimento de área foliar .....	86
4.3.2.3 Taxa de crescimento relativo da área foliar .....	88

	<b>Página</b>
4.3.2.4 Razão de área foliar.....	91
4.3.2.5 Razão de massa foliar .....	93
4.3.2.6 Área foliar específica .....	96
4.3.2.7 Duração de área foliar e biomassa .....	98
4.3.2.8 Índice de colheita .....	100
4.3.2.9 Altura das plantas.....	103
4.3.2.10 Altura de inserção da primeira vagem, produção e produtividade	106
4.4 Resumo e conclusões .....	113
4.5 Sugestões para estudos futuros .....	115
<b>5. PARTIÇÃO DE FOTOASSIMILADOS .....</b>	<b>116</b>
5.1 Introdução .....	116
5.2 Taxas de produção de matéria seca.....	116
5.2.1 Taxa de produção de matéria seca das raízes.....	119
5.2.2 Taxa de produção de matéria seca do caule .....	122
5.2.3 Taxa de produção de matéria seca dos cotilédones.....	123
5.2.4 Taxa de produção de matéria seca das folhas .....	125
5.2.5 Taxa de produção de matéria seca das flores .....	129
5.2.6 Taxa de produção de matéria seca das vagens .....	130
5.2.7 Taxa de produção de matéria seca dos grãos .....	134
5.3 Partição de fotoassimilados.....	136
5.3.1 Drenos preferenciais .....	136
5.3.2 Partição de fotoassimilados ao longo do ciclo .....	138
5.3.3 Comparação entre as razões dos componentes da planta.....	142
5.3.3.1 Comparação entre as razões de massa radicular .....	142
5.3.3.2 Comparação entre as razões de massa do caule .....	144
5.3.3.3 Comparação entre as razões de massa do cotilédone .....	147
5.3.3.4 Comparação entre as razões de massa foliar.....	149
5.3.3.5 Comparação entre as razões de massa da flor.....	151
5.3.3.6 Comparação entre as razões de massa da vagem.....	152
5.3.3.7 Comparação entre as razões de massa dos grãos .....	154
5.4 Coeficiente alométrico raiz-parte aérea .....	157
5.5 Resumo e conclusões .....	160
5.6 Estudos futuros.....	160
<b>6. INTERCEPTAÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA RADIAÇÃO .....</b>	<b>161</b>
6.1 Radiação interceptada .....	161
6.1.1 Introdução .....	161
6.1.1.1 Radiação transmitida.....	161

	<b>Página</b>
6.1.1.2 Radiação interceptada .....	162
6.1.1.3 Radiação absorvida .....	162
6.1.2 Percentagem de radiação interceptada .....	163
6.1.3 Percentagem de radiação interceptada <i>versus</i> índice de área foliar.....	169
6.2 Coeficiente de extinção da radiação.....	173
6.3 Eficiência de uso da radiação.....	180
6.3.1 Eficiência de uso da radiação para o ciclo total.....	180
6.3.2 Eficiência de uso da radiação na fase vegetativa .....	181
6.3.3 Eficiência de uso da radiação na fase de florescimento.....	183
6.3.4 Eficiência de uso da radiação na fase reprodutiva .....	185
6.4 Eficiência de conversão da energia solar .....	187
6.5 Resumo e conclusões .....	190
6.6 Estudos futuros.....	191
<b>7. EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA .....</b>	<b>192</b>
7.1 Introdução .....	192
7.2 Eficiência do uso da água nas fases fenológicas.....	192
7.2.1 Lâminas de água aplicadas e evapotranspiradas.....	192
7.2.2 Matéria seca produzida na fase fenológica .....	195
7.2.3 Eficiência de uso da água.....	198
7.3 Comportamento da eficiência de uso da água .....	201
7.4 Medidas instantâneas da eficiência de uso da água .....	203
7.5 Resumo e conclusões .....	210
7.6 Estudos futuros.....	211
<b>8. FOTOSSÍNTESE.....</b>	<b>212</b>
8.1 Introdução .....	212
8.2 Parâmetros do modelo.....	214
8.2.1 Taxa de fotossíntese máxima, a 800 e a 2000 $\mu\text{mol PAR}$ .....	214
8.2.2 Inclinação inicial da curva de resposta da fotossíntese à luz.....	215
8.2.3 Respiração.....	215
8.3 Fotossíntese .....	216
8.4 Condutância estomática .....	216
8.5 Resumo e conclusões .....	219
8.6 Estudos futuros.....	220
<b>9. MODELO EXPOLINEAR.....</b>	<b>221</b>
9.1 Introdução .....	221

	<b>Página</b>
9.2 Estimativa de matéria seca .....	223
9.2.1 Estimativa de matéria seca total.....	223
9.2.2 Estimativa de matéria seca da raiz .....	229
9.2.3 Estimativa de matéria seca do caule .....	230
9.2.4 Estimativa de matéria seca da folha .....	230
9.3 Parâmetros estimados pela expolinear e pela análise de crescimento clássica .....	230
9.4 Suposições do modelo expolinear.....	233
9.5 Extensão do modelo expolinear .....	235
9.6 Simulação do índice de área foliar .....	236
9.7 Resumo e conclusões .....	243
9.8 Estudos futuros.....	245
<b>10. CONCLUSÕES GERAIS.....</b>	<b>246</b>
<b>11. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>248</b>
<b>APÊNDICE.....</b>	<b>261</b>

## SÍMBOLOS E ABREVIACÕES

$\alpha$	eficiência quântica, ou eficiência inicial em baixos níveis de luz ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ( $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) <sup>-1</sup> ; ou seja, ( $\text{mol CO}_2$ ) ( $\text{mol PAR}$ ) <sup>-1</sup>
$\eta_a$	fração translocada para a parte aérea
$\eta_{ac}$	fração translocada para caule (haste principal, ramos e pecíolos)
$\eta_{af}$	fração translocada para folhas
$\eta_{afl}$	fração translocada para flores
$\eta_{ag}$	fração translocada para grãos
$\eta_{av}$	fração translocada para vagens
$\eta_r$	fração translocada para a raiz
$\epsilon$	Eficiência de uso da radiação ou quociente matéria seca:radiação ( $\text{g MJ}^{-1}$ )
$\delta$	declinação do sol
$\hat{i}$	eficiência de conversão da energia solar (%)
$\phi$	latitude
$\theta$	umidade do solo ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ )
$\wedge$	valor calorífico ( $\text{cal g}^{-1}$ )
A	massa seca final estimada pela equação 4.1 ( $\text{g m}^{-2}$ )
b	parâmetro da equação 4.1
a e b	coeficientes do modelo de ANGSTRON & PRESCOTT
Ap (t)	altura das plantas ao longo do ciclo da cultura (cm)
BMD	duração da biomassa
BOC	balanço de ondas curtas
BOL	balanço de ondas longas

C	taxa de crescimento da cultura ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
CC	capacidade de campo (%)
$C_C$	taxa de produção de matéria seca do caule (haste principal, ramos e pecíolos) ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_{CT}$	taxa de produção de matéria seca do cotilédone ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
CdEst	condutância estomática ( $\text{milimol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
$C_F$	taxa de produção de matéria seca da folha ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_{FL}$	taxa de produção de matéria seca da flor ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_G$	taxa de produção de matéria seca de grãos ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_L(t)$	taxa de crescimento de área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_m$	taxa de crescimento máximo da cultura ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_m^*$	taxa de crescimento potencial ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_{m, \text{apar.}}$	taxa de crescimento aparente ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_{mc}$	taxa de crescimento máximo da matéria seca do caule (haste principal, ramos e pecíolos) ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_{mf}$	taxa de crescimento máximo da matéria seca foliar ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$C_{mr}$	taxa de crescimento máximo da matéria seca radicular ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
CNPSo	Centro Nacional de Pesquisa de Soja
CP	número de nêutrons atenuados na contagem padrão
CR	contagem relativa (contagem-solo/contagem padrão)
$C_R$	taxa de produção de matéria seca de raiz ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
CS	número de nêutrons atenuados ou contagem no solo
CT	ciclo total (dias)
Ct	taxa de crescimento da cultura ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
CTOT*	ciclo total considerando somente a fase de aumento de IAF
CTOT	ciclo total considerando o período entre 20 DAE e 86 DAE
$C_V$	taxa de produção de matéria seca da vagem ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
DAE	dias após a emergência
DAS	dias após sementeira
DEC	decêndio
DP	desvio-padrão
dt	intervalo de tempo
dw	variação da matéria seca
e	pressão de vapor parcial de água

EG	fase de enchimento de grãos (período entre R5 e R8)
$E_L$	taxa assimilatória líquida instantânea
EP	evaporação do tanque Classe A
$e_s - e$	deficiência de pressão de vapor d'água
$e_s$	pressão de vapor d'água no ponto de saturação
ET	evapotranspiração (mm)
$ET_0$	evapotranspiração de referência (mm)
$ET_0$ –Classe A	Evapotranspiração de referência estimada pelo tanque classe (mm)
$ET_0$ –PM	Evapotranspiração de referência estimada pelo método Penman-Monteith (mm)
$ET_c$	evapotranspiração da cultura (mm)
$ET_p$	evapotranspiração potencial diária (mm)
EUA	eficiência de uso da água ( $\text{g MS kg}^{-1}$ água)
EUR	eficiência de uso da radiação ( $\text{g MJ}^{-1}$ )
$f$	quantidade de radiação solar interceptada pelo dossel ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
$F_A$	razão de área foliar instantânea
FAO	Food Agriculture Organization
FCA/UNESP	Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da Universidade Estadual Paulista
FF	fase de florescimento (período entre R1 e R5)
$f_m$	fração máxima de radiação interceptada
FS II	fotossistema II
$f_s$	radiação absorvida na superfície do solo ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
FV	fase vegetativa (período entre VE e R1)
G	taxas de crescimento absoluto ( $\text{g dia}^{-1}$ )
GD	graus-dia
Gr	produção de grãos
HI	índice de colheita
I	radiação fotossinteticamente ativa abaixo do dossel ( $\mu\text{mol PAR m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
$I/I_0$	fração de radiação transmitida
$I_0$	radiação fotossinteticamente ativa incidente acima do dossel ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ )
IAF	índice de área foliar ( $\text{m}^2$ folha $\text{m}^{-2}$ solo)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia

INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IPTP	irrigado por todo o período
ISFV	irrigado e sombreado na fase vegetativa
$k$	taxa constante ( $d^{-1}$ ) (equação 4.1)
$k$	coeficiente de extinção da luz no dossel
$K$	coeficiente alométrico raiz-parte aérea
$K_c$	coeficientes da cultura
$K_p$	coeficiente do tanque Classe A
$L$	índice de área foliar cumulativo ( $m^2$ folha $m^{-2}$ solo)
$L_0$	índice de área foliar inicial ( $m^2$ folha $m^{-2}$ solo)
$L_A$	área foliar total da planta ( $m^2$ )
LAD	duração de área foliar (dias)
LAI	índice de área foliar ( $m^2$ folha $m^{-2}$ solo)
LAR	razão de área foliar ( $m^2$ (folha) $g^{-1}$ (planta))
$L_m$	valor máximo de IAF ( $m^2$ folha $m^{-2}$ solo)
$L_{MAX}$	índice de área foliar máximo ( $m^2$ folha $m^{-2}$ solo)
$L_w$	massa seca foliar total por planta (g)
LWR	razão de massa foliar (g (folha) $g^{-1}$ (planta))
$m$	coeficiente de transmissão foliar
mca	metros de coluna de água
MS	matéria seca
MSC	matéria seca do caule (haste principal, ramos e pecíolos)
MSF	matéria seca da folha
MSR	matéria seca da raiz
MST	matéria seca total
$n$	brilho solar ou insolação
$N$	comprimento astronômico do dia
$n/N$	razão de insolação
$n'$	dia juliano
NAR	taxa de assimilação líquida ( $g\ m^{-2}$ (área foliar) $d^{-1}$ )
NIFF	não irrigado na fase de florescimento
NIFV	não irrigado na fase vegetativa
$P$	área unitária de solo ( $m^2$ )
P. GRÃOS	matéria seca dos grãos

PAR	radiação fotossinteticamente ativa ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ )
PAR <sub>Acum</sub>	PAR absorvida acumulada ( $\text{MJ m}^{-2}$ )
P <sub>G</sub>	fotossíntese bruta ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ folha s}^{-1}$ )
P <sub>g</sub>	taxa de fixação bruta de CO <sub>2</sub> ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ folha s}^{-1}$ )
PIB	produto interno bruto
p <sub>l</sub>	razão de massa foliar dinâmica
P <sub>m</sub>	taxa máxima de assimilação de CO <sub>2</sub> em altos níveis de luz ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ folha s}^{-1}$ )
PMP	ponto-de-murcha permanente (%)
P <sub>n</sub>	fotossíntese líquida ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ folha s}^{-1}$ )
PPT + IRRIG.	precipitação mais irrigação (mm)
PPT	precipitação (mm)
r	radiação refletida pelo dossel
R	constante de proporcionalidade, ‘índice de eficiência’ para produção de matéria seca, taxa específica de crescimento ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
R	taxa de respiração no escuro ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
R1	estádio reprodutivo 1
R2	estádio reprodutivo 2
R3	estádio reprodutivo 3
R4	estádio reprodutivo 4
R5	estádio reprodutivo 5
R6	estádio reprodutivo 6
R7	estádio reprodutivo 7
R8	estádio reprodutivo 8
r <sup>2</sup>	coeficiente de determinação
r	coeficiente de correlação
R <sub>a</sub>	valor médio diário da radiação solar total incidente ( $\text{cal m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
R <sub>A</sub>	taxa de crescimento relativo da área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
r <sub>C</sub>	reflectância do dossel
R <sub>D</sub>	respiração mitocondrial ou oxidativa (escura)
RFA	radiação fotossinteticamente ativa
R <sub>g</sub>	radiação global
R <sub>G</sub>	respiração de crescimento

RGR	taxa de crescimento relativo ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$R_{\text{int}}$	radiação interceptada (%)
$R_{\text{m}}$	taxa de crescimento relativo máximo ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$R_{\text{M}}$	respiração de manutenção
$R_{\text{mc}}$	taxa de crescimento relativo máximo do caule (haste principal, ramos e pecíolos) ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$R_{\text{mcalc}}$	taxa de crescimento relativo máxima calculada ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$R_{\text{mf}}$	taxa de crescimento relativo máximo da matéria seca das folhas ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$R_{\text{mr}}$	taxa de crescimento relativo máxima da raiz ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$R_{\text{n}}$	saldo de radiação ( $\text{MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )
$r_{\text{S}}$	radiação refletida na superfície do solo
$R_{\text{W}}$	massa seca da raiz, estimada pelo modelo alométrico (g)
$R_{\text{W}}$	taxa de crescimento relativo instantâneo da planta ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )
$s$	área foliar específica ( $\text{m}^2$ (folha) $\text{g}^{-1}$ (folha))
$s$	RFA incidente imediatamente acima do dossel ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
$S_{\text{A}}$	área foliar específica ( $\text{m}^2$ (folha) $\text{g}^{-1}$ (folha))
SLA	área foliar específica ( $\text{m}^2$ (folha) $\text{g}^{-1}$ (folha))
$S_{\text{W}}$	massa seca real da parte aérea (g)
$t$	radiação transmitida à parte inferior do dossel ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
$t$	tempo ou dias após a emergência (d);
T	transpiração
$T_{\text{b}}$	temperatura basal
$t_{\text{b}}$	tempo perdido ou tempo no qual a cultura passa efetivamente da fase de crescimento exponencial para a fase de crescimento linear (dias)
$t_{\text{bc}}$	tempo perdido no acúmulo de matéria seca do caule (haste principal, ramos e pecíolos) (dias)
$t_{\text{bf}}$	tempo perdido no acúmulo de matéria seca da folha (dias)
$t_{\text{br}}$	tempo perdido no acúmulo de matéria seca na raiz (dias)
TCA	taxa de crescimento absoluto ( $\text{g dia}^{-1}$ )
Temp	temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ )
Tmed	temperatura média ( $^{\circ}\text{C}$ )
$t_{\text{r}}$	tempo no qual a cultura para de acumular matéria seca (fim da fase linear e início da fase de senescência)

TRANSP	transpiração
UEA	uso eficiente da água ( $\text{g MS kg}^{-1}\text{água}$ )
UFV	Universidade Federal de Viçosa
UR	umidade relativa (%)
URmed	umidade relativa média (%)
VC	estádio vegetativo de cotilédone
VE	estádio vegetativo de emergência
V1	estádio vegetativo 1
V2	estádio vegetativo 2
V3	estádio vegetativo 3
Vn	estádio vegetativo n
W	massa seca total da planta ( $\text{g m}^{-2}$ )
$W_M$	massa seca total dos grãos, por planta (g)
$W_{MAX}$	valor máximo de matéria seca ( $\text{g m}^{-2}$ )
$W_S$	massa seca total da matéria seca da planta acima do solo ( $\text{g m}^{-2}$ )
Z	duração da biomassa (dias)

## RESUMO

PEREIRA, Carlos Rodrigues, D.S., Universidade Federal de Viçosa, novembro de 2002. **Análise do crescimento e desenvolvimento da cultura de soja sob diferentes condições ambientais.** Professor Orientador: Luiz Cláudio Costa. Professores Conselheiros: Everardo Chartuni Mantovani e Tuneo Sedyama.

As variações anuais que ocorrem nas safras agrícolas podem ser minimizadas através do estudo das interações entre cultura e ambiente. Uma ferramenta de grande utilidade, nesses estudos, é constituída pelos modelos de simulação. Visando um aporte à pesquisa, na modelagem de crescimento e desenvolvimento da cultura de soja, este estudo objetivou determinar os parâmetros fisiológicos e climáticos em diferentes ambientes. Dois experimentos foram conduzidos na estação experimental Vila Chaves, *campus* da UFV, com a cultura de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] utilizando a variedade cultivada 'Capinópolis', durante as estações de cultivo dos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99. Foram aplicados os seguintes tratamentos: irrigado por todo o período (IPTP); irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV); não-irrigado na fase vegetativa (NIFV); e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF). Nos dois ensaios, foram feitas medições de matéria seca da raiz, do cotilédone, do caule (haste principal, ramos e pecíolos), da folha, da flor, da vagem e grãos, além de medições da área foliar ao longo do ciclo da cultura. No ensaio feito em 1998/99, foram realizadas medições da fotossíntese nas fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos, bem como o acompanhamento da umidade do solo por meio de sonda de nêutrons. Os tratamentos ISFV e NIFV apresentaram quedas nítidas na produção de matéria seca, em relação aos tratamentos IPTP e NIFF, e redução na área foliar durante a fase vegetativa. O tratamento NIFV, irrigado a partir do início da fase de florescimento, conseguiu recuperar sua área foliar e atingir uma produtividade igual àquela obtida no tratamento IPTP. O tratamento ISFV, com a retirada do sombreadamento, não conseguiu recuperar a

área foliar e, assim, a produtividade de grãos foi fortemente afetada, apresentando uma queda de 40%, em relação ao IPTP. NIFF apresentou uma queda de 25% em produtividade de grãos. Os valores médios de produtividade para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF foram 3,64, 2,19, 3,78 e 2,74 t ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Na fase vegetativa, os tratamentos ISFV e NIFV apresentaram uma redução na fotossíntese máxima (P<sub>m</sub>) de 34 e 44%, respectivamente. Na fase de florescimento, NIFF mostrou queda de 35% em P<sub>m</sub>. Na eficiência de uso da radiação, ao longo de todo o ciclo, ISFV, NIFV e NIFF apresentaram quedas de 36, 8 e 3%, respectivamente. Na eficiência de uso da água, ISFV apresentou queda de 50% enquanto NIFV e NIFF mostraram aumento de 10 e 27%, respectivamente. Para o ciclo todo, IPTP, ISFV, NIFV e NIFF apresentaram os valores de 0,49, 0,85, 0,64 e 0,70, para o coeficiente de extinção da radiação solar, e 0,037, 0,044, 0,039 e 0,038 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, respectivamente, para área foliar específica. O comprimento do ciclo da cultura foi diminuído no ensaio realizado em 1997/98, em virtude da elevação da temperatura média. A variedade de soja ‘Capinópolis’ mostrou-se sensível ao estresse hídrico, na fase de florescimento, e ao estresse por sombreamento na fase vegetativa, ao passo que a deficiência hídrica, na fase vegetativa, mostrou-se benéfico para a produtividade de grãos, capacitando melhor a cultura para a captura de recursos tais como água, nutrientes, radiação e CO<sub>2</sub> durante as fases subseqüentes. Os parâmetros fisiológicos variaram, conforme o ambiente ao qual a cultura foi exposta.

## ABSTRACT

PEREIRA, Carlos Rodrigues, D.S., Universidade Federal de Viçosa, November 2002.  
**Analyzing the growth and development of the soybean crop under different environmental conditions.** Adviser: Luiz Cláudio Costa. Committee members: Everardo Chartuni Mantovani and Tuneo Sedyama

The study of the crop-environment interactions may give a valuable contribution to the minimization of the annual variations occurring in the agricultural harvests. An useful tool used in these studies are the simulation models. In the search for a improvement to the research on the modeling of the soybean crop growth, this study aimed to determine the physiologic and climatic parameters under different environments. Two experiments were carried out with the soybean crop [*Glycine max* (L.) Merrill], using the “Capinópolis” cv. in the experimental station Vila Chaves at UFV campus over the cropping seasons of the agricultural years 1997/98 and 1998/99. The following treatments were applied: irrigated throughout the period (IPTP); irrigated and shaded at the vegetative phase (ISFV); non-irrigated at the vegetative phase (NIFV); and non-irrigated at the flowering phase (NIFF). In both assays, the measurements were performed for the dry matter in the roots, cotyledon, stem, leaf, flower, pod and grains, in addition to the measurements of the leaf area along the crop cycle. In the assay conducted in 1998/99, the photosynthesis measurements were accomplished at the vegetative, flowering, and grain fulfillment phases, as well as the follow-up of the soil moisture through neutron probe. The treatments ISFV and NIFV showed evident declines in the dry matter yield, relative to the treatments IPTP and NIFF, as well as a reduction in leaf area during the vegetative phase. The treatment NIFV, which was irrigated since the beginning of the flowering phase, was able to recover its leaf area and reach the same productivity as the one obtained in treatment IPTP. With the removal of the shade, the treatment ISFV was unable to recover the leaf

area, thus the grain productivity was strongly affected, so presenting a decline of 40% in relation to IPTP. NIFF presented a decline of 25% in grain productivity. The average productivity values for IPTP, ISFV, NIFV and NIFF were 3.64, 2.19, 3.78, and 2.74 t ha<sup>-1</sup>, respectively. In the vegetative phase, the treatments ISFV and NIFV showed a reduction of 34 and 44% in the maximum photosynthesis (P<sub>m</sub>), respectively. In the flowering phase, NIFF showed a decline of 35% in P<sub>m</sub>. For the efficiency in radiation use throughout the cycle, ISFV, NIFV and NIFF presented declines of 36, 8, and 3%, respectively. For the efficiency in water use, ISFV presented decline of 50%, while NIFV and NIFF showed an increase of 10 and 27%, respectively. For the whole cycle, IPTP, ISFV, NIFV, and NIFF presented the values of 0.49, 0.85, 0.64, and 0.70 for the extinction coefficient of the solar radiation, and 0.037, 0.044, 0.039, and 0.038 m<sup>2</sup> g<sup>-1</sup>, for the specific leaf area, respectively. In the assay carried out in 1997/98, the length of the crop cycle was reduced because the elevation in the average temperature. Degrees-day was more accurate in forecasting the phenology of the soybean crop than the days. The soybean cultivar “Capinópolis” showed to be sensitive to the hydric stress at the flowering phase, and to the shading stress at the vegetative phase, whereas the hydric deficit at the vegetative phase showed to be beneficial to grain productivity, so providing the crop with a higher ability to capture the resources during the subsequent phases. The physiologic parameters varied according to the environment the soybean crop was exposed to.

# 1. INTRODUÇÃO GERAL

## 1.1 Introdução

Em condições de campo, as culturas estão sujeitas à influência de diversos elementos climáticos que, em constantes interações entre si e com outros fatores ambientais e fisiológicos, são determinantes para o crescimento e desenvolvimento dessas culturas. As interações entre as culturas e o ambiente envolvem processos físicos, químicos e biológicos, cujo estudo e compreensão são extremamente complexos (CHANG, 1968).

## 1.2 Histórico e importância da cultura de soja

Pertencente à família Leguminosae, sub-família Faboideae (antiga Papilionoideae) e nome científico *Glycine max* (L.) Merrill, a soja é nativa da Ásia, provavelmente das regiões Norte e Central da China, sendo considerada uma das culturas mais antigas desse continente.

No Brasil, a soja foi introduzida em 1882 no estado da Bahia, sendo depois levada para São Paulo (Instituto Agrônomo de Campinas - IAC), onde os primeiros resultados experimentais foram relatados em 1892 (MANICA e COSTA, 1996).

Em 1900, foi introduzida no Rio Grande do Sul. Neste estado, foram realizadas descrições detalhadas sobre seus aspectos botânicos e culturais, no ano de 1901, bem como avaliações experimentais em 1921, enquanto seu cultivo para fins agrícolas foi iniciado em 1924. Em 1931, foi introduzida a variedade cultivada Amarela-riogrande que, por muitos anos, foi responsável por mais de 95 % da produção de soja no Rio

Grande do Sul, sendo que, em 1965, de um total de 350 mil hectares cultivados, 70 % da área era desta variedade cultivada.

No estado de Minas Gerais, a soja chegou por volta de 1925, em Lavras, depois em Barbacena e por volta de 1930 em Viçosa. Na década de 50 foram lançadas, em Viçosa, pela Universidade, variedades cultivadas de soja para cultivo em solos de cerrado, sendo esta Universidade uma das pioneiras nesta área. No programa atual de melhoramento, iniciado em 1963 pelo professor Silvio Brandão e Dr. Kirk L. Athow, hoje coordenado pelo professor Tuneo Sedyama, Viçosa conta com 45 novas variedades cultivadas, sendo, mais uma vez pioneira no lançamento de variedades cultivadas próprias para consumo humano e que não possuem os genes que causam o gosto amargo característico do produto. Do total da área plantada em Minas Gerais, aproximadamente 17 % é ocupada por variedades cultivadas de Viçosa, e considerando o Brasil, já ocupam mais de 600 mil hectares. Em termos econômicos isso equivale à movimentação de mais de 180 milhões de reais por ano (SEDIYAMA, dados não publicados).

A expansão da cultura no País continuou de forma acelerada sendo que, na estação de cultivo de 1984/85, mais de 10 milhões de hectares foram cultivados, atingindo uma produção de 18 milhões de toneladas de grãos.

Entre 1999 e 2000 a área plantada aumentou 177,4 mil hectares, sendo a região Centro-Oeste a de maior ampliação nas fronteiras produtivas, cujo total ficou em torno de 14 milhões de hectares. Quanto à produtividade, em 2000/01, a região que apresentou a menor média foi o Nordeste, com valor médio de 2147 kg ha<sup>-1</sup>. A região de maior produtividade foi o Centro-Oeste, atingindo valores de até 3100 kg ha<sup>-1</sup>, com valor médio de 2900 kg ha<sup>-1</sup>.

Na safra de 2000/01, o País obteve a segunda maior produção de grãos de soja (35,5 milhões de toneladas) perdendo apenas para os Estados Unidos (75,38 milhões); quanto à produtividade, ficou em segundo lugar, perdendo para a Argentina, ou seja, 2610 kg ha<sup>-1</sup> contra 2640 kg ha<sup>-1</sup> da Argentina (USDA, 2001).

Segundo informações do Ministério da Agricultura, na safra de 2001/02 a produção de grãos foi de 37,7 milhões de toneladas e há uma previsão de aumento em torno de 11 % para a safra de 2002/03, com uma produção esperada em torno de 42,0 milhões de toneladas. A área plantada na safra de 2001/02 foi de 13,9 milhões de hectares e há uma expectativa de crescimento em torno de 24 % para a safra 2002/03 atingindo uma área em torno de 16,3 milhões de hectares.

A produção brasileira de soja, assim como seus derivados semi-industrializados e industrializados, sofre forte concorrência mundial, com indícios de acirramento no próximo decênio. Exemplo desta tendência é a política adotada pelos países desenvolvidos, que visa restringir o acesso dos produtos brasileiros aos seus mercados, bem como subsidiar as exportações. No entanto, a exigência atual de maior utilização de proteínas e óleos vegetais na alimentação animal (devido aos problemas da vaca louca), bem como as exigências do mercado europeu voltado para a soja de origem não-transgênica, sinaliza um novo limite no potencial de consumo deste produto. Assim, o produtor que dispor de maior conhecimento e melhores condições tecnológicas para explorar ao máximo o potencial produtivo de seu país conquistará mais espaço no mercado mundial (EMBRAPA, 2001).

Considerando o sistema agroindustrial do Brasil, a estimativa é de que sua participação no PIB nacional chegue a 35%, ou seja, US\$ 195 bilhões, tendo como base o PIB de 1999. Neste total, a cadeia agroindustrial da soja participa com pelo menos 16%, o que significa um montante de US\$ 31,20 bilhões anuais (EMBRAPA, 2001).

### **1.3 Exigências climáticas da cultura de soja**

Ao longo de seu ciclo vital, a cultura de soja, requer condições de temperatura e umidade variáveis de acordo com sua fase fenológica (ARRUDA et al., 1976; SIONIT e KRAMER, 1977; KORTE et al., 1983). A temperatura, tanto do ar como do solo, é de importância primordial para que ocorram bom crescimento e desenvolvimento normal ao longo do ciclo, supondo-se a ocorrência normal dos demais elementos meteorológicos, a fertilidade do solo, a ausência de doenças e pragas, além do controle de plantas daninhas. Dessa forma, uma lavoura de soja crescendo sob condições adequadas de temperatura e umidade, certamente, apresentará maior produtividade de grãos em relação a uma outra que passe por períodos de estresse, seja ele térmico ou hídrico, em alguma fase do ciclo.

#### **1.3.1 Relações água-planta na cultura de soja**

A água constitui, aproximadamente, 90% da massa da planta, atuando praticamente em todos os seus processos fisiológicos e bioquímicos. Desempenha a função de solvente, através do qual os gases, minerais e outros solutos entram nas células e movem-se através da planta. Tem, ainda, papel importante na regulação

térmica da planta, agindo tanto no resfriamento através do processo de evapotranspiração como na manutenção e distribuição do calor (NOBEL, 1991).

Assim, a precipitação é um dos elementos meteorológicos de grande importância para esta cultura, uma vez que sua ausência ou excesso, dependendo da fase fenológica na qual ocorra, poderá implicar em prejuízos tanto no acúmulo de matéria seca (crescimento) quanto na produtividade e qualidade dos grãos (HUNTER e ERICKSON, 1952; SIONIT e KRAMER, 1977).

Uma das principais causas da variação na produtividade da soja, no Brasil, tem sido a ocorrência de anos com precipitação abaixo da média histórica, sendo que há registros de quedas de até 30 % na produtividade (EMBRAPA, 2001).

A disponibilidade de água é primordial, durante os períodos de germinação-emergência e floração-enchimento de grãos. Durante o primeiro período, tanto o excesso quanto a deficiência de água são prejudiciais à obtenção de uma boa uniformidade na população de plantas. A semente de soja necessita absorver, no mínimo, 50% de sua massa em água para assegurar uma boa germinação. Nesta fase, o conteúdo de água no solo não deve exceder 85% do total de água disponível, nem ser inferior a 50% (SEDIYAMA et al., 1981; ARANTES e SOUZA, 1992; CONFALONE, 1998).

Nesta cultura, a necessidade de água aumenta com o desenvolvimento, e conseqüente crescimento, da planta, atingindo o máximo durante a floração-enchimento de grãos (7 a 8 mm dia<sup>-1</sup>), decrescendo após este período. Deficiências hídricas expressivas, durante a floração e enchimento de grãos, provocam alterações fisiológicas na planta, como o fechamento estomático e o enrolamento de folhas, conseqüentemente causando queda prematura de folhas, queda de flores e abortamento de vagens, implicando na redução do rendimento de grãos (LAOHASIRIWONG, 1986).

Para obtenção do rendimento máximo, a necessidade de água durante todo o ciclo varia entre 450 a 800 mm, dependendo das condições climáticas, do manejo da cultura e da duração do ciclo (PASCALE, 1969; CARTTER e HARTWIG 1962).

Com referência às exigências hídricas, PASCALE (1969) analisou balanços hídricos de regiões norte-americanas produtoras de soja, verificando que a isolinha de 100 mm de deficiência de água, no período vegetativo, pode ser usada para delimitar regiões aptas de regiões inaptas para a cultura.

### 1.3.2 Uso eficiente de água pela cultura de soja

A habilidade de uma planta em moderar a perda de água, enquanto mantém uma absorção suficiente de CO<sub>2</sub> para fotossíntese, pode ser analisada por meio de um parâmetro denominado razão de transpiração (TAIZ e ZEIGER, 1991), ou requerimento de água (KRAMER e BOYER, 1995), definido como a quantidade de água transpirada pela planta dividida pela quantidade de dióxido de carbono assimilado pela fotossíntese.

Nas plantas típicas, em que o primeiro produto estável de fixação do carbono é um composto de três carbonos, chamadas plantas C<sub>3</sub>, cerca de 500 moléculas de água são perdidas, para cada molécula de CO<sub>2</sub> fixado pela fotossíntese, dando uma razão de transpiração igual a 500 (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Uma maior razão de efluxo de H<sub>2</sub>O a influxo de CO<sub>2</sub> depende de dois fatores. Primeiro, o gradiente de concentração dirigindo a perda de água equivale a 50 vezes aquele dirigindo a entrada de CO<sub>2</sub>. Isto se deve à baixa concentração de CO<sub>2</sub> no ar (~0,03%) e à alta concentração de vapor de água dentro dos espaços foliares. Segundo, CO<sub>2</sub> difunde mais lentamente através do ar, em relação à água, pois a molécula de CO<sub>2</sub> é maior que a molécula de água e tem um menor coeficiente de difusão. Além disso, o CO<sub>2</sub> tem uma rota de difusão maior porque ele deve atravessar a membrana citoplasmática, o citoplasma e a dupla camada do envelope do cloroplasto, antes de ser assimilado no cloroplasto. Estas membranas aumentam, substancialmente, a resistência à difusão do CO<sub>2</sub> (TAIZ e ZEIGER, 1991).

As plantas com fotossíntese C<sub>4</sub>, ou seja, aquelas em que um composto de quatro carbonos é o primeiro produto estável da fotossíntese, em geral, transpiram menos água por CO<sub>2</sub> fixado. Uma razão de transpiração típica para estas plantas é cerca de 250 (TAIZ e ZEIGER, 1991).

O inverso da razão de transpiração é denominado 'uso eficiente da água' (UEA). Assim, a razão de transpiração para C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub> transformada em UEA será em torno de 1/500 ou 0,002 e 1/250 ou 0,004, respectivamente (TAIZ e ZEIGER, 1991).

O UEA é, assim, definido como unidade de matéria seca produzida por planta, por unidade de água utilizada (KRAMER e BOYER, 1995).

Existem várias formas de calcular o UEA como, por exemplo, a massa de CO<sub>2</sub> líquido absorvido por massa de água perdida ou transpirada (KRAMER, 1983; NOBEL, 1991).

Portanto, sendo o UEA uma relação entre a absorção de CO<sub>2</sub> (A) e transpiração (T), pode-se dizer, a princípio, que se a disponibilidade de água é reduzida, os estômatos

fecham-se e a transpiração diminui, aumentando o UEA (TAIZ e ZEIGER, 1991).

Em termos de unidade de massa de água utilizada para produção de uma unidade de massa seca de grão, o agricultor pode considerar a água adicionada desde a implantação até o ponto de colheita da cultura. Assim, também é possível definir o UEA como sendo a produção de grãos dividida pela quantidade de água agregada durante o cultivo.

Há grandes evidências de que o UEA varia entre espécies, no mesmo ambiente, e entre climas para uma mesma cultura (KRAMER e BOYER, 1995).

O UEA é muito estudado no sentido de verificar a produção de massa de grãos em relação ao consumo de água durante todo ciclo (KRAMER e BOYER, 1995), mas poucos trabalhos são encontrados, objetivando ao acompanhamento do UEA, em cada fase de desenvolvimento da cultura (BONGIORNO e DUJMOVICH, 1997).

Em virtude de sua característica C<sub>3</sub>, a cultura de soja apresenta baixa eficiência no uso da água, em relação a outras culturas como, por exemplo, o sorgo (BOLTON, 1981). Sabe-se, porém, que esta cultura possui grande plasticidade e reage, diferentemente, à deficiência hídrica em fases distintas de seu ciclo (HUNTER & ERICKSON, 1952; ARRUDA et al., 1976; SIONIT & KRAMER, 1977; KORTE et al., 1983).

O conhecimento do UEA em diferentes fases fenológicas torna-se de grande importância para o manejo do ambiente como, por exemplo, a aplicação de água em épocas distintas do ciclo da cultura. Sabendo-se em que fase a cultura seria mais susceptível à deficiência hídrica, ou em que fase do ciclo ocorre um melhor uso da água, a aplicação de complemento de chuva terá maior eficácia e, assim, um maior retorno em produção de matéria seca de interesse econômico (grãos). Portanto, tais conhecimentos podem fundamentar técnicas de manejo para aumentar o UEA na cultura de soja.

### **1.3.3 Temperatura**

A temperatura do solo pode ter efeito prejudicial sobre a simbiose. Solos quentes e secos diminuem a sobrevivência das bactérias sobre as sementes de soja inoculadas, retardam ou impedem a germinação e prejudicam a formação de nódulos. Temperaturas máximas diurnas do solo acima de 33 °C prejudicam, principalmente, a formação de nódulos, seu desenvolvimento e a eficiência nodular, embora haja diferenças entre variedades e raças de rizóbio (FUNDAÇÃO CARGIL, 1986).

Aquino e Bekendam, 1969, citados por SEDIYAMA et al., (1981), mostraram que temperaturas do solo alternadas entre 20 e 30 °C, bem como temperaturas constantes de 30 °C, foram consideradas ótimas para germinação de sementes de soja.

As exigências de temperatura variam de acordo com as condições fisiológicas da semente. As sementes recém-colhidas, apresentando dormência residual, são mais exigentes em temperatura para máxima germinação, em relação às sementes não-dormentes (ARANTES e SOUZA, 1992).

A temperatura média do ar ótima para a germinação está em torno de 32 °C, sendo a mínima de 8 °C e a máxima de 40 °C. Temperatura ótima é aquela à qual um número máximo de sementes germina, em menor período de tempo, enquanto máxima e mínima são aquelas acima e abaixo das quais não ocorre germinação ou, quando ocorre, esta é extremamente reduzida (Toledo & Marcos Filho, 1977, citados por SEDIYAMA et al., 1981).

Em condições de campo, foi observado que o período vegetativo da soja inicia quando a temperatura média do ar atinge 15 °C (PASCALE et al., 1963). Temperaturas médias do ar noturnas em torno de 24 °C, em dias longos, condicionam rápido crescimento vegetativo, promovendo florescimento precoce (PASCALE, 1969), ao passo que as temperaturas médias abaixo de 24 °C normalmente retardam o florescimento em dois a três dias, para cada 0,5 °C de decréscimo (WHIGHAM e MINOR, 1978). Temperaturas abaixo de 21 °C, ou acima de 32 °C, podem reduzir o florescimento e o estabelecimento de vagens. As temperaturas elevadas são responsáveis pelo aumento de aborto de flores (NOGUEIRA, 1983).

A floração da soja é induzida, somente quando ocorrem temperaturas acima de 13 °C (BROWN, 1960). As diferenças de data de floração entre anos, apresentadas por uma cultivar semeada numa mesma época, são devidas às variações de temperatura. Assim, a floração precoce é devida, principalmente, à ocorrência de temperaturas mais altas, podendo acarretar diminuição na altura de planta. Este problema pode se agravar se, paralelamente, ocorrer insuficiência hídrica e, ou fotoperiódica, durante a fase de crescimento. Diferenças nas datas de floração entre cultivares, numa mesma época de semeadura, são devidas principalmente às respostas dos cultivares ao comprimento do dia (fotoperíodo). A maturação pode ser acelerada, quando ocorrem altas temperaturas. Temperaturas baixas na fase da colheita podem provocar um atraso na data de colheita, bem como a ocorrência de retenção foliar (SUMMERFIELD et al., 1993).

BROWN (1960), verificou que um desenvolvimento mais rápido da planta ocorre à temperatura média de 30 °C e que a temperatura mínima para o início do desenvolvimento é 10 °C, em ambiente controlado. Em condições de campo, considera-se que a soja encontra melhor aptidão cultural, quando as temperaturas médias no período vegetativo estão entre 22 e 35 °C. Além desses limites, aparecem distúrbios fisiológicos que afetam, particularmente, o florescimento e a nodulação das raízes na presença de deficiências hídricas (MASCARENHAS & MIYASAKA, 1968; CAMARGO et al., 1971).

SILVA (1970), observando o comportamento de variedades cultivadas de soja em algumas localidades de Minas Gerais, verificou o adiantamento do ciclo em locais com temperatura média mais elevada.

Segundo Cantilife, 1981, citado por DUTRA (1986), a ocorrência de altas temperaturas durante os últimos 45 dias de desenvolvimento da semente tem sido associada ao pior vigor de plântulas na progênie, bem como plantas expostas a períodos prolongados de chuva e alternância de temperaturas podem levar as sementes a um rápido processo de deterioração.

As temperaturas médias de pleno verão, consideradas ótimas para todas as variedades cultivadas, segundo Martin & Leonard, 1949, citados por CAMARGO et al. (1971), devem estar em torno de 24 a 25 °C.

### **1.3.4 Fotoperíodo**

A sensibilidade da cultura de soja ao fotoperíodo é característica variável entre os cultivares, ou seja, cada cultivar possui seu fotoperíodo crítico, acima do qual o florescimento é atrasado, razão pela qual a soja é considerada planta de dia curto. Em função desta característica, a faixa de adaptabilidade de cada cultivar varia à medida que se desloca na direção norte ou sul. Entretanto, os cultivares que apresentam a característica ‘período juvenil longo’ possuem adaptabilidade mais ampla, possibilitando seu plantio em locais de diferentes latitudes e em diversas épocas de semeadura (EMBRAPA, 2001).

Quanto menor o fotoperíodo crítico de um cultivar, tanto mais exigente este será em somas térmicas para completar seu ciclo (DUTRA, 1986).

Segundo Pascale, 1963, citado por CAMARGO et al. (1971), as variedades cultivadas de ciclo precoce são indiferentes ao fotoperíodo. Elas florescem apenas em

função da acumulação térmica, a partir da data da emergência. As variedades cultivadas de ciclo tardio, entretanto, não florescem em dias longos, ou seja, em períodos com noites menores que 10 horas, aproximadamente.

As variedades cultivadas tardias, cultivadas no Brasil, só iniciam o florescimento cerca de um mês após o solstício de verão, em princípios de fevereiro, quando a duração do dia cai suficientemente. Assim, as épocas de florescimento, frutificação, maturação e colheita serão praticamente as mesmas, qualquer que seja a data de plantio, no período normal da primavera (CAMARGO et al., 1971).

## **1.4 Fotossíntese**

A característica mais importante das plantas é sua habilidade para interceptar e absorver energia solar, utilizando-a para fixar o dióxido de carbono atmosférico em um grupo de moléculas orgânicas mais complexas. Este processo é responsável pela entrada de energia livre na biosfera. Parte da energia livre armazenada nos assimilados fotossintéticos é transferida, durante o processo de respiração, para compostos de alta energia, que podem ser utilizados na síntese de novos compostos e no processo de manutenção. O saldo de CO<sub>2</sub> fixado pela planta, ou fotossíntese líquida (P<sub>n</sub>), é a diferença entre a taxa de fixação bruta (P<sub>g</sub>) e a taxa de perda de CO<sub>2</sub> durante o processo respiratório (R) (JONES, 1994). Embora difícil de se imaginar, há mais fotossíntese nos ecossistemas terrestres do que nos aquáticos. Segundo as estimativas disponíveis, a produtividade primária líquida dos ecossistemas continentais é mais do que o dobro daquela dos ecossistemas marinhos (117,5 x 10<sup>9</sup> versus 55 x 10<sup>9</sup> t ano<sup>-1</sup>, LIETH & WHITTAKER, 1975).

### **1.4.1 Fotossíntese e luz**

Curvas de resposta à luz têm sido apresentadas, para diferentes espécies, e para espécies particulares aclimatadas em diferentes irradiâncias (JONES, 1994; PACHEPSKY et al., 1996). Embora haja uma leve tendência da P<sub>n</sub>, nas espécies C<sub>4</sub>, continuar aumentando mais do que nas espécies C<sub>3</sub>, com o aumento da irradiância, há grandes diferenças entre espécies de sombra e espécies de sol, ou entre folhas de uma mesma espécie crescendo em irradiâncias diferentes. Nas espécies de sombra ou em folhas sombreadas, P<sub>n</sub> pode saturar a menos de 100 μmol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> de PAR, a qual é aproximadamente 5% da luz total. Folhas de sol, por outro lado, freqüentemente

continuam a responder a valores típicos para toda luz solar. O ponto de compensação de luz também varia a partir de valores tão baixos quanto  $0,5 - 2 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nas espécies de sombra, até valores de  $40 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$  nas folhas de sol (JONES, 1994).

Diversos fatores contribuem para as diferenças existentes no comportamento fotossintético das folhas de sombra e de sol. Há evidências satisfatórias de que todos os componentes do sistema fotossintético adaptam-se juntos. Por exemplo, na presença de alta irradiância, as folhas tendem a ser mais espessas, com uma área de superfície interna maior que as folhas de sombra e tendem a ter mais clorofila e muito mais carboxilase, por unidade de área. Como a resistência do mesófilo, por unidade de superfície de célula, é aproximadamente constante, esta resistência tende a diminuir com o aumento da irradiância, como resultado da mudança na razão entre a área de superfície da célula do mesófilo e a área de superfície da folha (HOLMGREN, 1968; NOBEL et al., 1975), como ocorre na resistência estomatal. As reações de luz também são afetadas pela irradiância crescente, ocorrendo o desenvolvimento de granas mais extensivos nas folhas de sombra, enquanto a capacidade para transporte de elétrons é marcadamente reduzida. Por exemplo, o transporte de elétrons nos dois sistemas, quando expresso numa base de clorofila, pode ser até 14 vezes mais intenso em cloroplastos extraídos de plantas de sol do que aquele verificado em cloroplastos extraídos de plantas sombreadas (BOARDMAN et al., 1975; BOARDMAN, 1977). Parte desse efeito pode resultar de uma leve diminuição no tamanho da unidade fotossintética (MALKIN e FORK, 1981). Os componentes da cadeia de transporte de elétrons, isto é, citocromo f e citocromo b, são particularmente reduzidos nas plantas com baixa luminosidade. As várias adaptações, em resposta à irradiância alterada, podem ocorrer poucos dias após a mudança no ambiente.

Apesar da grande diferença na  $P_n$  saturada por luz, somente pequenas diferenças têm sido observadas na inclinação inicial da curva de resposta da fotossíntese à luz. A recíproca desta inclinação, requerimento de quantum (quanta por  $\text{CO}_2$  fixado), é uma medida da eficiência da fotossíntese e é, relativamente, constante com um valor em torno de 19 para plantas  $\text{C}_4$ , enquanto nas plantas  $\text{C}_3$  é fortemente dependente da temperatura e concentração de oxigênio (EHLERINGER e BJÖRKMAN, 1977).

A ocorrência de irradiância elevada pode danificar o sistema fotossintético, particularmente de folhas adaptadas à sombra, ou de folhas nas quais o metabolismo fotossintético tenha sido inibido por outros estresses, tais como temperaturas extremas, ou estresse hídrico. Os danos podem ser um resultado de foto-oxidação onde ocorre

destruição da clorofila. Quando não ocorre destruição da clorofila, mas o dano é observado, diz-se que ocorreu foto-inibição (JONES, 1994).

A taxa respiratória também pode ser influenciada pela irradiância crescente, sendo tão baixa quanto  $4 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$ , nas plantas de sombra e  $50 - 150 \mu\text{g m}^{-2} \text{s}^{-1}$  em folhas de sol. Esta diferença pode contribuir para a vantagem no saldo fotossintético em baixa luminosidade, que é frequentemente exibido pelas folhas sombreadas (JONES, 1994).

#### **1.4.2 Fotossíntese e deficiência hídrica**

O efeito da deficiência hídrica sobre a assimilação tem sido assunto de muitos artigos (KAISER, 1987). Entretanto, há controvérsias quanto à importância relativa do fechamento estomatal e das mudanças na capacidade do mesófilo, como causas das diminuições observadas na assimilação. Embora estudos tenham sugerido que as mudanças na condutância estomatal são a principal causa de diminuição da fotossíntese (BOYER, 1976), muitos estudos de campo utilizando espaços de tempo maiores, mais próximos da realidade, têm indicado que a capacidade de muitos componentes fotossintéticos é modificada paralelamente, enquanto a limitação relativa da condutância estomática permanece aproximadamente constante (JONES, 1973). Estudos recentes sobre a fluorescência da clorofila evidenciam que a alta irradiância, durante o estresse hídrico, pode levar a danos fotoinibitórios no fotossistema II (FS II), embora sugerindo que o transporte de elétrons é, relativamente, pouco afetado em condições de baixo potencial hídrico. Há possibilidade de que o fechamento estomatal desuniforme tenha sido a causa da diminuição da capacidade fotossintética do mesófilo, que consta em alguns registros.

#### **1.5 Análise de crescimento**

A análise de crescimento é uma das técnicas de medida do balanço de carbono e trocas de gás nas plantas (ŠESTÁK et al., 1971; EVANS, 1972). É um poderoso método para estimar a produção fotossintética líquida (fotossíntese menos respiração) das plantas, em grandes intervalos de tempo. Baseia-se nas medidas primárias de matéria seca e dimensões de área foliar, realizadas em intervalos de tempo sobre plantas ou estande de plantas (HUNT, 1990). É também útil para verificar adaptações fisiológicas de diferentes espécies, quanto à partição de carboidratos para folhas e outros órgãos como raiz ou sementes. Essa partição é tão importante quanto a atividade fotossintética

por unidade de área, determinando a produtividade de diferentes estandes de plantas.

O crescimento que pode ser, de forma bem precisa, definido como mudanças irreversíveis com o tempo, as quais ocorrem principalmente no tamanho, freqüentemente na forma e ocasionalmente no número, foi primeiramente descrito por Kreuzler e co-autores, trabalhando com milho, no período de 1875 a 1879. Os resultados obtidos demonstraram que o crescimento de uma planta anual segue um curso típico de diversas outras culturas anuais (HUNT, 1990).

BLACKMAN (1919) derivou a relação  $dW/dt = R W$ , em que  $W$  é a matéria seca atual (g),  $t$  o tempo (dia) e  $R$  uma constante de proporcionalidade. O autor considerou  $R$  como um 'índice de eficiência' para produção de matéria seca, o qual foi o primeiro índice usado para comparar o comportamento de diferentes espécies, ou de uma mesma espécie crescendo em ambientes diferentes. Em 1920, BRIGGS et al. (1920) isolaram  $R$  e o consideraram como taxa relativa, ou taxa específica de crescimento (RGR) ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ).

A taxa de assimilação líquida (NAR) ( $g\ m^{-2}(área\ foliar)\ d^{-1}$ ) foi introduzida em 1926, por Gregory. A análise dessa relação introduziu três novos conceitos, ou seja, a razão de área foliar (LAR) ( $m^2\ (folha)\ g^{-1}\ (planta)$ ), área foliar específica (SLA) ( $m^2\ (folha)\ g^{-1}\ (folha)$ ) e a razão de massa foliar (LWR) ( $g\ (folha)\ g^{-1}\ (planta)$ ).

O uso dessas relações apresenta limitações como, por exemplo, a perda de sua sensibilidade à medida que a planta cresce e expande a área foliar, bem como a falta de clareza quanto ao tipo de elemento do clima que estaria influenciando as alterações nas respostas da cultura (CONFALONE, 1998).

WATSON (1947) introduziu três novos conceitos. O primeiro foi o índice de área foliar (IAF), que é a superfície da área plana das folhas por unidade de área do solo. O segundo foi a taxa de crescimento da cultura (C), que considera a assimilação por unidade de área plantada e não por planta. O terceiro conceito foi a duração de área foliar (LAD), que é uma medida da persistência assimilatória da cultura. Ele demonstrou que esta quantidade está mais bem correlacionada com a acumulação de biomassa do que a NAR.

Na década de 60, uma combinação de avanços na teoria estatística e aumento na disponibilidade de computadores possibilitou o surgimento de novos métodos de análise de crescimento (RADFORD, 1967; HUNT, 1979).

Inicialmente, as curvas foram ajustadas a dados de crescimento primários (VERNON & ALLISON, 1963), mas a análise estatística dos dados de crescimento

revelou que eles atendiam melhor a uma distribuição log e, assim, curvas polinomiais foram, então, ajustadas aos dados logaritmizados (HUGHES & FREEMAN, 1967). As funções ajustadas passaram a ser utilizadas para fornecer uma descrição empírica do crescimento, facilitando comparações e esclarecendo variações no crescimento.

As vantagens das funções de crescimento ajustadas aos dados básicos de crescimento das plantas é que as variações, decorrentes da variabilidade biológica, tornam-se menores, fornecendo um sumário conveniente de seu crescimento (HUNT, 1979).

O uso destas funções tem diminuído e maior ênfase tem sido dada aos dados primários (COSTA, 1994; HOOGENBOOM et al., 1987). Isto é devido, principalmente, a dois fatos, isto é, as variações reais nas taxas de crescimento durante o ciclo da cultura podem ser mascaradas (minimizadas) pelas curvas e, sendo os polinômios inteiramente empíricos, não oferecem nenhuma possibilidade de interpretação biológica dos parâmetros.

Funções matemáticas como a função de Richard (RICHARDS, 1959), que é uma família de curvas assintóticas, incluindo as curvas logística e de Gompertz, têm sido apresentadas como uma melhor forma de descrever a evolução da matéria seca versus tempo. Estas curvas apresentam, geralmente, uma descrição mais precisa do crescimento. No início, o crescimento é aproximadamente exponencial, isto é, a taxa de crescimento aumenta até um máximo no ponto de inflexão e, então, diminui, com a massa seca aproximando-se de um valor final.

Embora o crescimento inicial seja aproximadamente exponencial, não há base teórica para aplicar essas equações ao crescimento de culturas. Assim, seu uso em estudos sobre o crescimento de plantas permanece empírico, embora tenha sido usado com sucesso (LITTLETON et al., 1979; DENNET et al., 1979). Essas curvas são, geralmente, ajustadas por iterações, sendo que a convergência nem sempre pode ser obtida (CAUSTON, 1969; DAVIES & KU, 1977). CAUSTON e VENUS (1981) explicaram que curvas como a função logística e a função de Richard podem descrever corretamente a forma do crescimento; entretanto, como incluem o tamanho final como um parâmetro, elas não podem ser usadas preditivamente.

Muitos pesquisadores têm tentado correlacionar estes conceitos básicos de análise de crescimento como, por exemplo, RGR e NAR com elementos climáticos como a chuva, temperatura e radiação, mas este tipo de análise geralmente não tem sido conclusiva (MONTEITH, 1977). Primeiro porque NAR diminui com o aumento de IAF, devido ao sombreamento mútuo das folhas e também pelo efeito de fatores ambientais e

agronômicos. Segundo porque medidas de acumulação de biomassa ao longo da estação de crescimento são sujeitas a grandes erros (MONTEITH, 1981).

### **1.6 Eficiência de uso da radiação**

Um grande avanço na análise de crescimento de culturas foi introduzido por GALLAGHER e BISCOE (1978). Eles sugeriram que o crescimento das culturas pode ser analisado, em termos da quantidade de radiação interceptada pela cultura e da eficiência de conversão desta energia interceptada em matéria seca.

Este conceito tem sido amplamente usado por vários pesquisadores (NATARAJAN e WILLEY, 1980; FASHEUN e DENNETT, 1982; HUGHES & KEATINGE, 1983; MUCHOW et al., 1993; COSTA, 1994; CONFALONE et al., 1997).

O fator de conversão, que é a quantidade de matéria seca produzida (g) por luz interceptada (MJ), tem recebido diversas denominações, ou seja, fator de conversão por KASIM e DENNETT (1986), eficiência fotossintética por HEATH e HEBBLETHWAITE (1987), quociente matéria seca:radiação por RUSSELL et al. (1989) e eficiência de uso da radiação (EUR) por MUCHOW et al. (1993). Aqui será utilizado a EUR.

Monteith obteve, em média, para diversas culturas, o acúmulo de matéria seca a uma taxa de  $1,4 \text{ g MJ}^{-1}$  de radiação global interceptada.

Vários trabalhos, objetivando analisar a relação entre radiação interceptada e matéria seca produzida, confirmaram que a biomassa das culturas é efetivamente proporcional à quantidade de radiação interceptada pelo dossel. Esta relação tem sido demonstrada para diferentes culturas como, por exemplo, a soja (SHIBLES e WEBER, 1965), milho (WILLIAMS et al., 1965) e o algodão (BAKER e MEYER, 1966).

Estimativas da EUR para diversas culturas crescendo com adequados níveis de água e nutrientes no solo têm sido relatadas como permanecendo constantes durante todo o ciclo de crescimento (MONTEITH, 1972; GALLAGHER e BISCOE, 1978; SCOTT e WILCOCKSON, 1978; SINCLAIR, 1991; CONFALONE et al., 1997).

No entanto, outros estudos têm mostrado que a EUR varia de acordo com as condições ambientais (MUCHOW et al., 1993), como foi demonstrado com a temperatura (ANDRADE et al., 1993), radiação (RUSSELL et al., 1989) e deficiência de pressão de vapor (SQUIRE, 1990; STOCKLE & KINIRY, 1990).

Considerando que as condições ambientais podem afetar, diferenciadamente, a habilidade dos mecanismos da planta envolvidos na captura e utilização da radiação,

pode-se dizer que a EUR varia em resposta às condições ambientais e apresenta uma grande consistência fisiológica (ARKEBAUER et al., 1994).

As variações observadas nos valores da EUR, em resposta à deficiência hídrica, são fruto de complexas variações em diversos componentes da cultura como, por exemplo, a taxa de troca de CO<sub>2</sub>, taxa de expansão celular e movimento de água no solo (TURNER et al., 1985; DAVIES et al., 1990). É exatamente essa capacidade da EUR em integrar, de forma consistente, interações tão complexas, que a fazem um modelo robusto para explicar a produtividade das culturas (ARKEBAUER et al., 1994; MUCHOW et al., 1986; SINCLAIR, 1992).

Com o crescimento do dossel, não somente são modificadas as condições ambientais, mas, também a estrutura física do dossel, a idade das folhas e a distribuição dos fotoassimilados entre as diversas partes da planta. Essas mudanças alteram a eficiência com a qual a luz é capturada e utilizada pelas plantas (COSTA et al., 1999).

A relação linear entre matéria seca acumulada e radiação interceptada é encontrada durante o crescimento vegetativo (MONTEITH e ELSTON, 1983). Durante a maturação da cultura, esta relação pode fugir da linearidade, conforme observado por CONFALONE et al. (1997). Isto implica no ajuste da relação aos dados até o ponto de máximo acúmulo de matéria seca.

### **1.7 Modelos de crescimento de culturas**

Modelo é uma representação simples de um sistema, ou subsistema, do mundo real. Modelos de simulação de crescimento de culturas é a representação dos processos físicos e biológicos da cultura e sua interação com o ambiente (solo e atmosfera) (CHAN, 1992).

Os modelos de simulação do crescimento de culturas têm se apresentado, ao longo do tempo, como ferramentas extremamente úteis para o estudo e compreensão da relação clima-cultura (BOOTE et al., 1996). Dessa forma, diversos modelos vêm sendo utilizados nos últimos anos, com o objetivo de analisar as interações entre clima e produtividade agrícola (TURCO et al., 1998).

Os primeiros trabalhos desenvolvidos com modelos de desenvolvimento de culturas foram realizados por MONTEITH (1965) e de WIT (1970), que estimaram as taxas de crescimento das culturas, partindo de um índice de área foliar, coeficiente de extinção da radiação e parâmetros de fotossíntese já conhecidos. Modelos mais

complexos foram desenvolvidos como, por exemplo, na Holanda, por PENNING de VRIES e van LAAR (1982), PENNING de VRIES et al. (1989) e nos Estados Unidos, por JONES e KINIRY (1986), para milho e outras culturas. Estes modelos requerem muitos parâmetros e descrevem todos os importantes processos envolvidos no crescimento de uma cultura, sendo, portanto, uma ferramenta valiosa para pesquisa.

Os modelos de simulação podem, ainda, ser definidos como um conjunto de equações matemáticas que representam, quantitativamente, as suposições relativas a um sistema real. Estes modelos têm como objetivo o avanço científico e a análise do sistema estudado, possibilitando, assim, uma representação simplificada dos processos do mundo real (THORNLEY, 1976).

Mais recentemente, os modelos de simulação vêm sendo classificados como: a) modelos empíricos, isto é, aqueles que nada mais são senão uma simples descrição dos dados experimentais (THORNLEY, 1976); e b) modelos mecânicos, nos quais todo o processo a ser modelado baseia-se em pressuposições físicas ou fisiológicas (MONTEITH, 1996; PASSIOURA, 1996).

O modelo empírico descreve o comportamento de um sistema de uma maneira simples. Geralmente, não leva em conta os mecanismos ou as causas do comportamento do sistema, ou seja, as restrições físicas, químicas e biológicas envolvidas no processo, sendo válido somente para o local, nível e intervalo em que foram gerados. Estas características constituem as desvantagens desta classe de modelos, pois, não permitem a geração de novos conhecimentos. Em contrapartida, eles têm ampla aplicação prática e são extremamente úteis na sumarização dos resultados. Um exemplo comum deste tipo de modelo é a resposta da produtividade de uma cultura, em função de uma variável qualquer como, por exemplo, a quantidade de nitrogênio disponível no solo (JONES & RITCHIE, 1991).

Os modelos mecânicos, por sua vez, contêm uma descrição quantitativa dos mecanismos e processos que causam o comportamento do sistema, ou seja, buscam ampliar o entendimento sobre os processos envolvidos nas interações cultura-ambiente. Para isto, o sistema a ser estudado é dividido em componentes, ou módulos, sendo sua compreensão alcançada por meio do entendimento do comportamento desses componentes, ou modelos individuais, e das interações entre eles. Sua descrição é, geralmente, baseada em teorias científicas ou hipóteses.

A desvantagem dos modelos mecânicos consiste na complexidade de seus módulos, ou componentes, implicando na necessidade de um grande número de

parâmetros. Um exemplo clássico de modelo mecanístico é a obtenção da produtividade de uma cultura, em função dos processos físicos e fisiológicos, tais como as trocas de gases pelas folhas, o crescimento, a partição de fotoassimilados, a fotossíntese, a respiração, dentre outros (BOOTE et al., 1994).

Dentre os modelos de crescimento de culturas, um dos mais simples e que pode ser considerado semimecanístico, é denominado 'modelo da radiação' (MONTEITH, 1977). Este modelo permite estimar a produtividade de uma cultura, considerando-se um único parâmetro, ou seja, a eficiência de uso da radiação ( $\epsilon$ ). O modelo baseia-se na existência de uma relação linear entre o acúmulo de matéria seca total e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura ( $g MJ^{-1}$ ). Este modelo já foi testado nas mais diversas condições climáticas (GALLAGHER & BISCOE, 1978; CONFALONE, 1998). Os modelos mecanísticos que se baseiam, essencialmente, na interceptação e utilização da radiação têm sido utilizados para simular o crescimento de culturas sob condições ótimas, ou seja, fornecem uma estimativa da produtividade potencial (CANNELL et al., 1988; SANDS, 1995).

De certa forma, nos últimos anos, tem havido uma tendência rumo à simplificação dos modelos mecanísticos mais complexos (MONTEITH, 1981; JEFFERIES & HEILBRONN, 1991).

### **1.7.1 Modelo expolinear**

O modelo expolinear é uma ferramenta poderosa na descrição e sumarização do crescimento de culturas, com uma base mecanística (GOUDRIAAN e MONTEITH, 1990). Este modelo foi aperfeiçoado posteriormente, aumentando seu potencial (GOUDRIAAN, 1994; GOUDRIAAN & van LAAR, 1994). A idéia básica deste modelo é que a taxa de crescimento de qualquer cultura é proporcional à radiação interceptada.

O princípio geral do modelo expolinear consiste em considerar que qualquer cultura tem duas fases distintas. Na primeira fase de crescimento, a cultura consiste de plantas jovens isoladas e, portanto, seu crescimento é exponencial com uma taxa de crescimento relativo constante. A segunda fase consiste de um período de crescimento linear, verificado quando a interceptação máxima de luz é atingida.

Este modelo tem sido testado em situações de ambiente favorável. Neste trabalho, seu comportamento é verificado, utilizando-se dados de tratamentos com restrições de água e radiação, na fase vegetativa, e com restrição de água na fase de

florescimento, bem como sob condições ótimas de crescimento por todo o período, na cultura de soja.

### 1.7.2 Parâmetros do clima e da cultura

Com o crescimento do dossel, modificam-se não somente suas condições ambientais, mas também sua estrutura física, a idade das folhas e a distribuição dos fotoassimilados entre as diversas partes da planta (BOARD e HARVILLE, 1996). Estas mudanças alteram a eficiência com que os recursos são capturados e utilizados pelas culturas (COSTA et al., 1996). Este conjunto de processos, ocorrendo em condições potenciais sem quaisquer restrições, por si só já é suficientemente complexo para tornar os modelos mecanísticos altamente dependentes de parâmetros de boa qualidade, na busca por resultados consistentes (BOOTE & PICKERING, 1994).

Em condições reais, a eficiência com que um dossel intercepta e utiliza a radiação varia ao longo do ciclo da cultura, sendo também influenciada pelas diversas condições ambientais, tais como a falta de água, de luz, de nutrientes e a temperatura (MELGES et al., 1989; CONFALONE et al., 1997). Considerando que, no campo, raramente, as culturas encontram-se em condições potenciais, o entendimento e estudo dos processos envolvidos tornam-se ainda mais complexos.

Dessa forma, para representação desses sistemas, são necessários modelos mecanísticos mais complexos, que utilizem um maior número de parâmetros, tais como: taxa máxima de assimilação de CO<sub>2</sub> em altos níveis de luz ( $P_m$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2}\text{folha s}^{-1}$ ); eficiência quântica ( $\alpha$ ) ( $\mu\text{molCO}_2 \mu\text{mol}^{-1}\text{PAR}$ ); coeficiente de transmissão foliar ( $m$ ); coeficiente de extinção da luz pelo dossel ( $k$ ); índice de área foliar (IAF) ( $\text{m}^2\text{folha m}^{-2}\text{solo}$ ); área foliar específica (SLA) ( $\text{m}^2\text{folha g}^{-1}\text{folha}$ ); partição de fotoassimilados, dentre outros (BOOTE e PICKERING, 1994; JOHNSON, et al., 1995; SANDS, 1995; PACHEPSKY et al., 1996).

Os parâmetros que indicam a percentagem de carboidratos translocados para cada parte da planta podem ser divididos em fração translocada para a raiz ( $\eta_r$ ) e fração translocada para a parte aérea ( $\eta_a$ ), que, por sua vez, pode ser dividida em fração translocada para folhas ( $\eta_{af}$ ), caule ( $\eta_{ac}$ ), flores ( $\eta_{afl}$ ), vagens ( $\eta_{av}$ ) e para a parte comercial ou de interesse econômico ( $\eta_{ag}$ ) (MIGLIORANZA, 1992; SANDS, 1996).

O procedimento de partição de fotoassimilados é bem estabelecido quando a cultura encontra-se em condições ótimas (BUGBEE & MONJE, 1992). Entretanto,

poucos estudos têm sido realizados sob condições de estresse hídrico e estresse por sombreamento (MELGES et al., 1989; COSTA et al., 1999).

Em geral, os fotoassimilados são distribuídos para as diversas partes da planta, conforme a demanda dos drenos, os quais alternam-se de acordo com a fase fenológica, ou situações de estresse (HAY & WALKER, 1989).

O estresse por sombreamento artificial provoca alterações na morfologia das plantas (CROOKSTON et al., 1975; WAHUA & MILLER, 1978), na anatomia foliar, na ultra-estrutura dos cloroplastos e teores de clorofila (CROOKSTON et al., 1975). MELGES et al. (1989) observaram que a redução na densidade do fluxo radiante induziu as plantas de soja a remanejar a distribuição dos fotoassimilados, alterando seu crescimento e morfologia, embora não ocorrendo alteração na ordem seqüencial dos drenos metabólicos preferenciais. As taxas de acúmulo de matéria seca, em cada órgão das plantas de soja, foram tanto mais elevadas quanto maior era o nível de luz incidente. MELGES et al. (1989) observaram, ainda, que as taxas de acúmulo de matéria seca nas raízes foram mais afetadas pelo sombreamento do que aquelas, nos demais órgãos.

O estresse hídrico induz também, alterações na relação fonte/dreno, sendo esta influência variável de acordo com a fase fenológica na qual ocorre o estresse (CONFALONE et al., 1997).

O conhecimento sobre os parâmetros que regulam esta partição, ao longo do ciclo da cultura, em condições ótimas e de estresse, é extremamente importante para a modelagem e, conseqüentemente, para a previsão da produtividade das culturas expostas às diversas condições ambientais (HERBERT & LITCHFIELD, 1982).

### **1.7.3 Desenvolvimento da cultura**

O crescimento da cultura, que geralmente está associado aos aumentos de massa, de volume e área, está diretamente ligado ao desenvolvimento, o qual, por sua vez, está relacionado às mudanças das fases fenológicas. A cultura passa de uma fase fenológica à outra, em resposta à influência de elementos do clima, destacadamente o fotoperíodo e a temperatura (BOARD & SETTIMI, 1988; SHANKER et al., 1996). A cultura de soja necessita, em algumas variedades cultivadas, de um acúmulo mínimo de horas de escuridão para passar da fase vegetativa à fase de florescimento, bem como para completar seu ciclo (SUMMERFIELD et al., 1993).

Em relação à temperatura, a cultura de soja necessita receber uma quantidade mínima de calor para mudar de uma fase de desenvolvimento para outra. Esta quantidade é expressa em graus-dia (GD), sendo contabilizada a partir de uma temperatura mínima denominada temperatura basal ( $T_b$ ) (YIN et al., 1995).

A predição precisa dos eventos fenológicos, como o início do florescimento, o início do enchimento de grãos e a maturação; é de grande importância para a precisão dos modelos, uma vez que os erros, na previsão fenológica, implicarão em erros na previsão da duração do período de enchimento de grãos e, por conseguinte, em erros na previsão da produtividade. Assim, a habilidade em prever os estádios vegetativos e reprodutivos, como uma função das condições ambientais, é um requisito básico para modelos de crescimento (WILKERSON et al., 1983; BHÉRING et al., 1991).

A predição das fases fenológicas, em soja, é ainda difícil porque a inter-relação entre os elementos climáticos, que afetam os processos de desenvolvimento na fase vegetativa e reprodutiva, é ainda pouco conhecida (SUMMERFIELD et al., 1991; GRIMM et al., 1993; WATKINSON et al., 1994; SUMMERFIELD et al., 1996). Diferentes modelos têm sido desenvolvidos para prever a ocorrência de fases fenológicas nesta cultura (MAJOR et al., 1975; HADLEY et al., 1984; HODGES e FRENCH, 1985; COLSON et al., 1995; QUEIROZ et al., 1996; ACOCK et al., 1997).

#### **1.7.4 Modelos de crescimento de plantas no Brasil**

No Brasil, o estudo e a aplicação de modelos, principalmente os mecanísticos, têm sido pouco desenvolvidos (MIGLIORANZA, 1992; BARROS, 1998). Dentre os problemas, que dificultam um maior aprofundamento neste campo, está a escassez de dados básicos necessários à elaboração de modelos válidos para as condições climáticas do País, ou seja, há grande dificuldade no estabelecimento dos parâmetros básicos usados no ajuste desses modelos.

Tal dificuldade é agravada pela grande extensão territorial do País e por sua diversidade climática, pois, os parâmetros estabelecidos para uma região, não podem ser usados em outros locais onde, geralmente, as condições sob as quais se encontra a cultura são totalmente diferentes (BARROS, 1998).

## **1.8 Variedade Cultivada Capinópolis**

Lançada em 1995, a variedade cultivada de soja Capinópolis caracteriza-se por apresentar alto índice de colheita e ciclo precoce, além da satisfatória adaptação numa ampla faixa de latitude e da possibilidade de cultivo em qualquer época do ano. O conhecimento e o ajuste dos parâmetros fisiológicos, fenológicos e climáticos desta cultura é de fundamental importância para a pesquisa, pois, promove avanços para o planejamento agrícola brasileiro, uma vez que possibilita a utilização de modelos, como ferramenta auxiliar nas previsões das variações de produtividade, sob diversas condições ambientais.

## **1.9 Objetivo deste trabalho**

Diante deste contexto, o objetivo deste estudo foi determinar os parâmetros fisiológicos e climáticos para a cultura de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], variedade cultivada Capinópolis, sob diferentes níveis de água e luz, nas diferentes fases, nas condições de Viçosa, MG.

## **1.10 Esboço**

Buscou-se uma seqüência que apresentasse uma análise mais completa possível sobre o crescimento da planta, ou seja, o esboço apresentado a seguir.

Capítulo 2 apresenta o material e métodos gerais usados neste estudo.

Capítulo 3 apresenta as condições ambientais (atmosfera e solo).

Capítulo 4 apresenta a descrição do desenvolvimento e crescimento da cultura

Capítulo 5 apresenta as taxas de crescimento e a partição de fotoassimilados.

Capítulo 6 apresenta a interceptação de radiação e a eficiência de uso da radiação.

Capítulo 7 apresenta a eficiência de uso da água.

Capítulo 8 apresenta os resultados dos parâmetros da fotossíntese.

Capítulo 9 apresenta o ajuste do modelo exponencial aos dados de matéria seca.

Capítulo 10 apresenta as conclusões gerais.

## **2. MATERIAL E MÉTODOS GERAIS**

### **2.1 Introdução**

Neste estudo, foram registradas as condições ambientais e a resposta da cultura de soja, sob deficiência hídrica nas fases fenológicas, vegetativa e de florescimento, bem como a resposta ao sombreamento na fase vegetativa. Realizou-se análise de crescimento e registros de dados climáticos, área foliar, acúmulo de matéria seca, partição de fotoassimilados, uso eficiente da água e uso eficiente da radiação, além da obtenção de parâmetros físicos e fisiológicos, utilizados na modelagem de crescimento da cultura de soja. Os detalhes sobre material e métodos, são apresentados a seguir.

### **2.2 Cultura**

A variedade cultivada de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] usada neste experimento foi a 'Capinópolis'. Esta variedade cultivada, de crescimento determinado e ciclo precoce, apresenta boa estabilidade de produtividade, sendo que seu melhor desempenho ocorre nas regiões compreendidas entre os paralelos 17° e 21° S (SEDIYAMA et al., 1995).

### **2.3 Solos**

O solo do campo experimental foi classificado como Podzólico Amarelo-Vermelho Câmbico, fase terraço (COSTA, 1973), ou Ultisol na classificação americana. As análises química e física foram feitas, a partir de amostras compostas provenientes de 25 amostras simples coletadas no local do experimento. As análises foram realizadas

no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa.

## 2.4 Dados meteorológicos

Os dados meteorológicos de temperatura (Temp), precipitação (PPT) e umidade relativa (UR) foram obtidos, diariamente, em um posto meteorológico instalado no campo experimental. Os dados de brilho solar ( $n$ ) foram obtidos na estação climatológica principal do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), localizada a dois quilômetros da área experimental, no Campus da UFV.

A medida de PPT foi obtida por meio de um pluviômetro Ville de Parri. Os valores de temperatura média (Tmed) e umidade relativa média (URmed) foram obtidos por meio de um termohigrógrafo, calculando-se a média aritmética dos valores máximos e mínimos atingidos em 24 horas.

Os valores da razão de insolação ( $n/N$ ) foram obtidos, dividindo-se o valor do brilho solar do dia ( $n$ ) pelo valor do comprimento astronômico do dia ( $N$ ).  $N$  foi estimado por meio de equações que levam em conta a declinação do sol ( $\delta$ ), a latitude ( $\phi$ ) e o dia juliano ( $n'$ ).

A pressão de vapor parcial ( $e$ ) de água foi calculada, utilizando-se os valores de pressão de vapor de saturação ( $e_s$ ) e os valores de UR. Os valores de  $e_s$  foram obtidos, empregando-se a equação proposta por TETENS (TETENS, 1930).

Os valores da radiação global ( $R_g$ ) foram estimados utilizando-se o modelo proposto por ANGSTRON (1924) e modificado por PRESCOTT (1940). Os coeficientes  $a$  e  $b$  deste modelo foram os ajustados, para cada mês do ano, para Viçosa, MG (ALVES et al., 1981). Os valores de  $a$  foram 0,236, 0,233, 0,256, 0,275 e 0,235 e os valores de  $b$  0,334, 0,363, 0,361, 0,321 e 0,373 para os meses de dezembro, janeiro, fevereiro, março e abril, respectivamente.

O saldo de radiação ( $R_n$ ) foi estimado, somando-se o balanço de ondas curtas (BOC) e balanço de ondas longas (BOL). Para determinar o BOC, o albedo foi obtido de acordo com os critérios determinados por BLAD e BAKER (1972). O balanço de ondas longas foi estimado, usando-se o modelo proposto por BRUNT (1932).

Dados de  $ET_0$  foram obtidos, por meio do tanque Classe A, e também estimados, utilizando-se o método de Penman-Monteith por meio do programa REF-ET.

Os valores de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) foram calculados multiplicando-se o valor da radiação global diária por 0,4435, fator este obtido por

SCHÖFFEL e VOLPE (2001), com  $r^2$  igual a 0,9968, na Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da Universidade Estadual Paulista (FCA/UNESP), cujas coordenadas geográficas são 21° 15' S, 48° 19' W e altitude média de 595 metros.

## 2.5 Experimento conduzido em 1997/98

Neste experimento, foram verificados os parâmetros de crescimento e desenvolvimento da cultura de soja, nos tratamentos estressados por falta de água e luz, em fases de desenvolvimento específicas, bem como aqueles da cultura sob condições ótimas de cultivo, conforme descrito a seguir.

### 2.5.1 Semeadura e emergência

O experimento foi conduzido na estação experimental Vila Chaves, localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil, (Latitude 20° 45' S, Longitude 42° 51' W, Altitude 690 m), durante a época de cultivo de 1997/98 em um local de topografia plana (Figura 2.1).

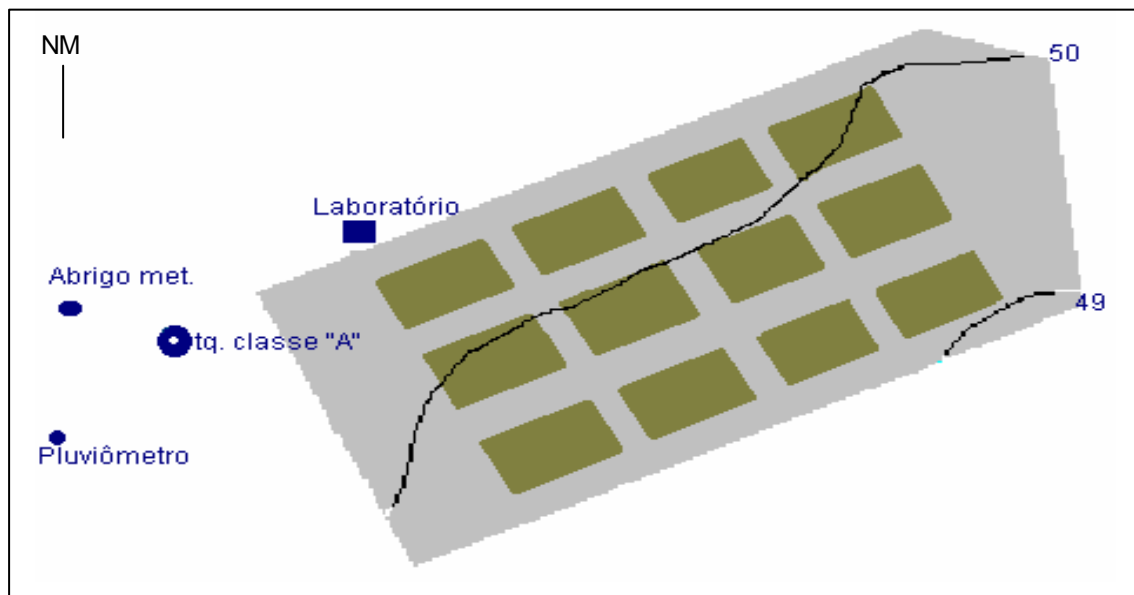


Figura 2.1 – Croqui do campo experimental, representando as parcelas, o desnível do terreno e pontos de localização de instrumentos utilizados para auxiliar o manejo da cultura, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

A semeadura foi realizada no dia 12/12/1997 com o auxílio de uma matraca a uma alta densidade de 100 sementes por metro quadrado ( $70 \text{ sementes metro}^{-1}$ ), em fileiras espaçadas de 0,7 m. Os sulcos de semeadura foram adubados com 60 kg de  $\text{K}_2\text{O ha}^{-1}$  e 120 kg de  $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$ , na forma de cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples

(SS), respectivamente, correspondendo a  $400 \text{ kg ha}^{-1}$  da fórmula 0-30-15 (NPK). A semente foi tratada com fungicida e inoculada com cepa 2930 de *Bradyrhizobium japonicum*. A emergência ocorreu no dia 17/12/1997.

### **2.5.2 Crescimento da cultura**

A partição de fotoassimilados, o acúmulo de matéria seca (MS) e a área foliar no período de crescimento inicial da cultura, desde a emergência até à instalação completa no campo (16/01/1998), foram verificados por meio da coleta de 10 plantas, a cada dois dias. A partir desta data até o dia 03/02/1998, este acompanhamento foi feito a cada sete dias e, a partir daí, até o final do ciclo, a cada 15 dias.

### **2.5.3 Tratamentos e delineamento experimental**

Os tratamentos foram aplicados, após o período de instalação completa da cultura no campo, ou seja, no dia 29/01/1998 aos 17 dias após a semeadura (DAS). Nesta mesma data, foi realizado o desbaste da cultura até atingir uma densidade média de 20 plantas  $\text{m}^2$ .

O experimento consistiu de quatro tratamentos: irrigado por todo o período em que a cultura permaneceu no campo (IPTP); irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV); não irrigado na fase vegetativa (NIFV); e não irrigado na fase de florescimento (NIFF).

As unidades experimentais de 6,0 por 10,5 m, separadas por uma bordadura de 3,0 m, foram agrupadas em três blocos separados entre si por uma bordadura de 3,5 m.

Utilizou-se o delineamento experimental em blocos casualizados, com três repetições. Para verificar a evolução do acúmulo de matéria seca (MS), índice de área foliar (LAI), área foliar específica (SLA), altura de planta, partição de assimilados, número de flores e vagens, taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (RGR), utilizou-se o esquema experimental em parcelas subdivididas, sendo as parcelas principais os tratamentos e as subparcelas as épocas de amostragem. Para estimativa da produção final e massa de 100 grãos, utilizou-se o delineamento experimental com repetição dentro de blocos, e cinco repetições por parcela. Para as demais características, utilizou-se apenas o delineamento em blocos casualizados com três repetições, sendo as repetições a média de 10 plantas por unidade experimental.

#### **2.5.4 Tratos culturais**

O controle de ervas daninhas foi realizado, manualmente, em duas capinas, aos 25 e 41 DAS. Durante todo o ciclo da cultura, não se observou incidência de pragas e doenças que pudessem comprometer o crescimento da cultura.

#### **2.5.5 Fenologia**

Para determinar o final de uma fase e o início de outra, utilizou-se o sistema de classificação de estágio de desenvolvimento, proposto por FEHR e CAVINESS (1977) (Quadro 2.1). O final da fase vegetativa e início da fase de florescimento foi determinado, quando se verificou a ocorrência de 50% de plantas com, pelo menos, uma flor aberta (R1). O final da fase de florescimento e início da fase de enchimento de grãos foi determinado, quando se observou a ocorrência de 50% de plantas com sementes de 3 mm de comprimento, localizadas em um dos quatro nós superiores da haste principal (R5).

#### **2.5.6 Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação utilizado foi o SANTENO, ou seja, microaspersão com mangueiras flexíveis SANTAPE I 100/15, fabricadas pela Politeño Indústria e Comércio S/A. Este foi disposto, no campo, em 9 linhas laterais por parcela. As linhas laterais foram vedadas, na extremidade, com tampões 3/4, utilizando-se fita veda rosca e braçadeira de rosca sem fim (Figura 2.2). Este tipo emite o jato com ângulo de elevação de 60°.

O sistema de microaspersão SANTENO foi escolhido, em função da alta uniformidade de aplicação, do custo, das facilidades de instalação e manejo e por facilitar os tratos culturais.

As linhas laterais foram colocadas em ruas intercaladas.

O sistema funcionou à pressão de serviço em torno de 2 mca. Este apresenta um espaçamento entre emissores de 0,15 m e vazão de 7,8 L hora<sup>-1</sup>m<sup>-1</sup>. O diâmetro dos bocais da mangueira é de 0,30 mm. O sistema apresentou um diâmetro de área molhada em torno de 2,5 metros, ou seja, em torno de 100% de área molhada.

A distribuição de emissores foi de 0,33 emissor, por planta.

Utilizaram-se doze linhas de derivação de 3/4, sendo uma para cada parcela. De cada linha de derivação, saíram nove linhas laterais (SANTAPE I) com espaçamento de 1,4 m e 7 m de comprimento. No início de cada linha de derivação, foi instalada, uma válvula de gaveta para fins de regulagem da altura do jato aspergido.

Quadro 2.1 – Esquema completo do sistema de classificação dos estádios fenológicos da cultura de soja, proposto por FEHR e CAVINESS em 1977<sup>1/</sup>

Estádio nº	Descrição
<b>ESTÁDIOS VEGETATIVOS</b>	
VE (emergência).....	Os cotilédones estão acima da superfície do solo.
VC (cotilédone).....	As folhas unifolioladas estão estendidas, os bordos das mesmas não estão se tocando.
V1 (primeiro nó).....	Folhas completamente desenvolvidas nos nós das folhas unifolioladas.
V2 (segundo nó).....	Folha trifoliolada completamente desenvolvida.
V3 (terceiro nó).....	Três nós sobre a haste principal, com folhas completamente desenvolvidas, iniciando-se com os nós das folhas unifolioladas.
Vn (enésimo nó) .....	n número de nós sobre a haste principal, com folhas completamente desenvolvidas
<b>ESTÁDIOS REPRODUTIVOS</b>	
R1 (início da floração).....	Uma flor aberta, em qualquer nó da haste principal.
R2 (floração plena).....	Flor aberta, em um dos dois últimos nós da haste principal.
R3 (início da formação de vagem) .....	Vagem com 5 mm de comprimento, em um dos quatro últimos nós superiores da haste principal.
R4 (vagem completamente desenvolvida).....	Vagem com 2 cm de comprimento, em um dos quatro últimos nós superiores da haste principal.
R5 (início da formação da semente).....	Semente com 3 mm de comprimento, localizada em um dos quatro nós superiores da haste principal.
R6 (semente completamente desenvolvida).....	Vagem contendo semente verde, que preencha a cavidade da vagem localizada em um dos quatro nós superiores da haste principal.
R7 (início da maturação).....	Uma vagem normal sobre a haste principal, que tenha atingido a cor da vagem madura (amarela).
R8 (maturação plena).....	95% de vagens tenham atingido a cor da vagem madura (palha marrom).

<sup>1/</sup> Fonte: FEHR e CAVINESS (1977).

Observação 1: Cada fase inicia-se quando 50% das plantas em estudo correspondem à descrição do mesmo.

Observação 2: Entende-se por último nó aquele mais alto, localizado na parte distal da haste principal.

Observação 3: ‘Estádio fenológico’ significa “um instante”, “o momento em que ocorre a mudança de uma fase para outra”. Assim, ‘estádio fenológico’ não tem duração.

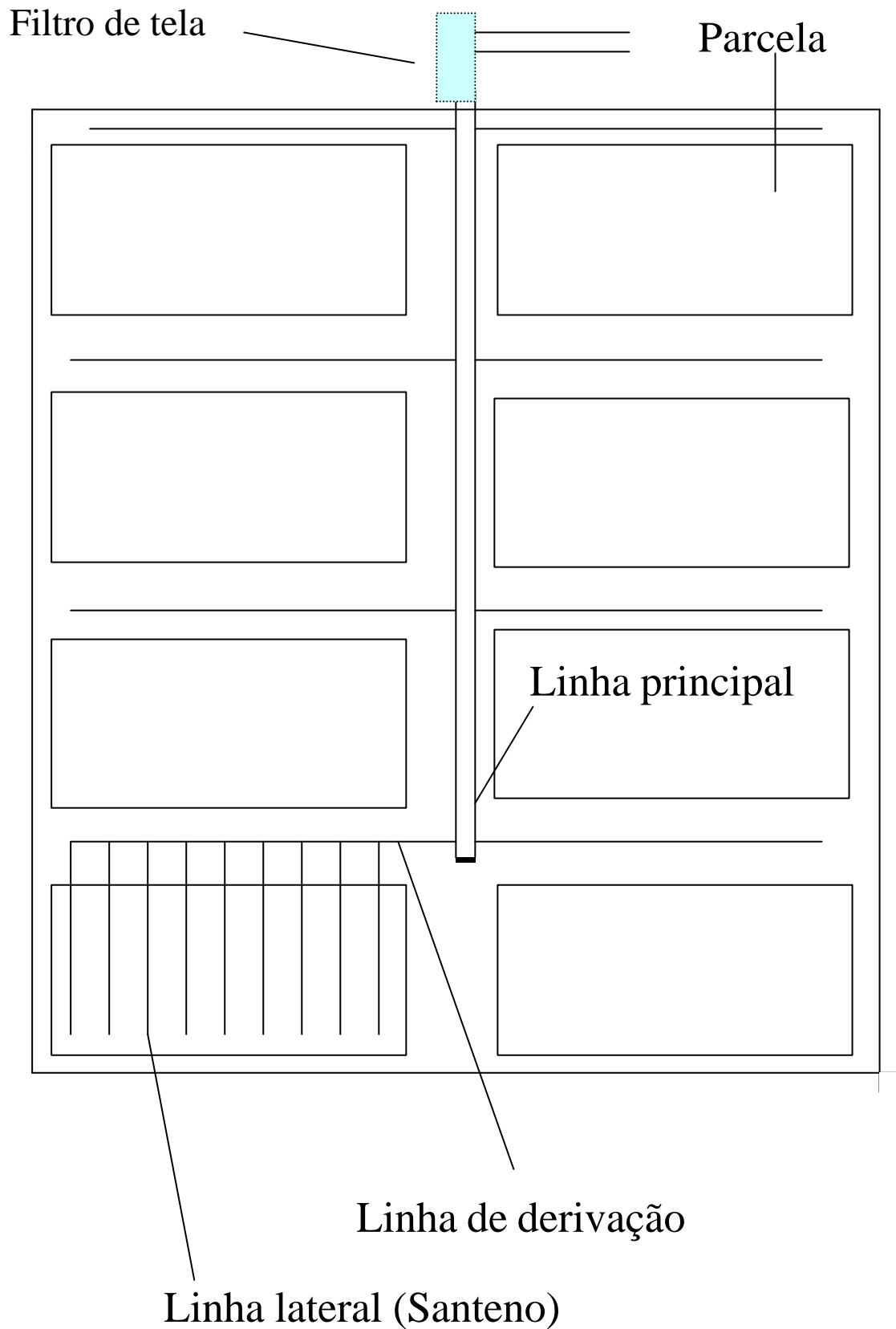


Figura 2.2 – Croqui do sistema de irrigação localizada, tipo Santeno, do experimento com cultura de soja.

A linha principal do sistema foi de uma polegada e meia. Nela foi instalada uma válvula de gaveta, antes das saídas das linhas de derivação.

A água foi bombeada para uma caixa reserva com capacidade para 20.000 litros e, assim, foi aduzida ao sistema por gravidade. Próximo ao campo experimental, foi instalado um cabeçal de controle com um filtro de tela. Este foi considerado satisfatório, uma vez que a água utilizada não apresentava excesso de matéria orgânica que pudesse implicar na necessidade de instalação de filtro de areia, embora tenha apresentado uma concentração de ferro que resultou na troca das mangueiras flexíveis, quando metade do tempo do experimento já havia decorrido.

O manejo da irrigação foi feito, verificando-se a lâmina evapotranspirada, a cada dia, por meio de um tanque Classe A. A reposição da lâmina de água perdida foi feita, ao final de cada dia. A lâmina a ser aplicada foi calculada, multiplicando-se o valor da evaporação do tanque Classe A (EP), instalado no campo experimental, pelo valor do coeficiente do tanque ( $K_p$ ), considerado como sendo 0,75, obtendo-se, assim, a evapotranspiração potencial diária ( $ET_p$ ). Essa  $ET_p$  foi multiplicada pelos valores dos coeficientes da cultura ( $K_c$ ), recomendados pela FAO (DOOREMBOOS e PRUITT, 1977). Esses valores variaram ao longo do cultivo (0,4 nos primeiros 15 dias; 0,6 nos 17 dias seguintes; 0,8 nos 11 dias seguintes; 1,0 nos sete dias seguintes; 1,15 nos 27 dias seguintes; 1,10 nos nove dias seguintes; 1,0 nos cinco dias seguintes; e 0,8 nos últimos 10 dias), resultando nos valores da evapotranspiração da cultura ( $ET_c$ ). O valor da  $ET_c$  foi, então, multiplicado pela área total das parcelas, enquanto um volume de água equivalente era medido no hidrômetro instalado no início da linha principal. Os tratamentos, nas fases em que não estavam sob estresse hídrico, foram mantidos próximos à capacidade de campo (CC).

Este processo foi utilizado, em virtude das dificuldades encontradas, na época do experimento, na obtenção de dados meteorológicos, que viabilizariam a utilização de métodos mais precisos.

### **2.5.7 Amostras e medidas para determinação do crescimento**

Para verificar a evolução da MS e do LAI, foram feitas coletas de 10 plantas por parcela, ou seja, a cada dois dias, nos primeiros 30 dias após a emergência (DAE), a cada sete dias dos 30 aos 51 DAE e, a partir daí, de 15 em 15 dias até o final do ciclo. A parcela foi dividida em 24 subparcelas, dentre as quais a coleta era sorteada a cada

amostragem. A subparcela constituiu-se de 10 plantas, tendo, como bordadura, três plantas em cada extremidade e uma fileira de cada lado da linha de amostragem. As plantas foram retiradas, cavando-se trincheiras com o auxílio de enxadão, conservando-se todo o sistema radicular, o qual foi lavado para retirada do solo aderido às raízes. A partição de fotoassimilados foi verificada, separando-se as plantas em raiz, caule (embora a denominação “caule” seja mais utilizada na literatura florestal, neste trabalho nós consideraremos como caule ao somatório de componentes, pecíolos, ramos e haste principal da planta de soja) e folhas, durante a fase vegetativa. Nas fases seguintes, a separação incluiu flores, vagens e grãos, além das partes citadas anteriormente. Após a separação, as partes das plantas foram secadas por 72 horas, em estufa com ventilação forçada a 75 °C, sendo, em seguida, pesadas. Para cada parte separada, foi realizado um estudo comparativo entre tratamentos, em termos de evolução ao longo do ciclo. A área foliar de cada tratamento, em cada coleta, foi obtida por meio de um integrador de área foliar (Modelo LI - 3100, LICOR, Inc.).

A evolução da altura das plantas foi acompanhada, em cada tratamento, até aos 63 DAS, medindo-se o comprimento de 10 plantas por unidade experimental, desde o nível do solo até o ápice da planta, sendo, então, calculada a média da altura das 10 plantas de cada parcela, para representar o bloco.

A altura de inserção da primeira vagem foi obtida, após o estágio reprodutivo R8, de uma média de 10 plantas por unidade experimental, medindo-se a distância do nível do solo ao ponto de inserção dessa primeira vagem na haste principal.

O número de flores foi verificado em três datas, para cada tratamento (51, 58 e 65 DAE), e o número de vagens em duas datas (58 e 65 DAE), nas fases de florescimento e enchimento de grãos, respectivamente. Para efeito de comparação, fez-se a soma das amostragens em cada parcela. O valor para o tratamento foi a média entre as parcelas.

#### **2.5.8 Produtividade de grãos**

A produtividade final de grãos e a massa de 100 grãos foram estimados pela amostragem de 5 metros de fileira, por unidade experimental, sendo cada metro de fileira de plantas colhido, ao acaso, dentro da unidade experimental.

#### **2.5.9 Análise de crescimento**

A análise de crescimento tradicional foi realizada com o auxílio do software Curve Expert aplicando a metodologia proposta por HUNT (1990).

### 2.5.9.1 Taxa de crescimento da cultura

A taxa de crescimento da cultura ( $C_t$ ), ou seja, a variação da matéria seca ( $dW$ ) em um intervalo de tempo ( $dt$ ), para as datas amostradas, foi obtida por meio da seguinte equação,  $C_t = \frac{dW}{dt}$ .

O método de cálculo utilizado, para atender à situação, foi obter as derivadas das funções ajustadas de  $W$  versus  $t$ ; se  $W = f_W(t)$ , então  $C_t = f'_W(t)$ .

### 2.5.9.2 Taxa de crescimento relativo

A taxa de crescimento relativo instantânea ( $R_W$ ) para as datas amostradas foi obtida por meio da seguinte equação,  $R_W = \left(\frac{1}{W}\right)\left(\frac{dW}{dt}\right)$ .

O método de cálculo utilizado consistiu em obter as derivadas das funções ajustadas a  $\log_e W$  versus  $t$ ; se  $\log_e W = f_W(t)$ , então  $R = f'_W(t)$ .

### 2.5.9.3 Razão de área foliar

A razão de área foliar instantânea ( $F_A$ ) foi obtida da relação entre a área foliar total da planta ( $L_A$ ) e a massa seca total da planta ( $W$ ).

Foi calculada a partir das funções ajustadas a  $\log_e L_A$  e a  $\log_e W$  versus tempo; assim, se  $\log_e L_A = f_L(t)$  e  $\log_e W = f_W(t)$ , então  $F_A = L_A/W = \exp[f_L(t) - f_W(t)]$ .

### 2.5.9.4 Área foliar específica

A área foliar específica instantânea ( $SLA$ ) foi obtida da relação entre área foliar total ( $L_A$ ) e massa foliar total ( $L_W$ ), sendo calculada a partir das funções ajustadas a  $\log_e L_A$  e a  $\log_e L_W$  versus tempo; assim, se  $\log_e L_A = f_A(t)$  e  $\log_e L_W = f_W(t)$ , então  $L_A/L_W = \exp[f_A(t) - f_W(t)]$ .

### 2.5.9.5 Razão de massa foliar

O termo “razão de peso”, geralmente utilizado em textos de análise de crescimento de plantas, neste trabalho, será trocado pelo termo “razão de massa”.

A razão de massa foliar instantânea ( $LWR$ ) foi obtida da relação entre massa seca foliar total ( $L_W$ ) e massa seca total da planta ( $W$ ).

Foi calculada a partir das funções ajustadas a  $\log_e L_W$  e a  $\log_e W$  versus tempo; assim, se  $\log_e L_W = f_L(t)$  e  $\log_e W = f_W(t)$ , então  $L_W/W = \exp[f_L(t) - f_W(t)]$ .

#### 2.5.9.6 Índice de área foliar

O índice de área foliar instantâneo (L) foi obtido pela relação entre a área foliar ( $L_A$ ), em um metro quadrado de solo, e a área unitária de solo (P). Para isso, obteve-se a média da área foliar de 10 plantas, sendo este valor multiplicado pela densidade de plantas da parcela.

A esses valores de L foi ajustado o modelo de Gauss, em todos os tratamentos, nos dois ensaios.

#### 2.5.9.7 Índice de colheita

O índice de colheita (HI) foi obtido, dividindo-se a massa seca total de grãos por planta ( $W_M$ ), pela massa seca total, da matéria seca da planta acima do solo ( $W_S$ ).

Foi calculado a partir das funções ajustadas a  $\log_e W_M$  e a  $\log_e W$  versus tempo; assim, se  $\log_e W_M = f_M(t)$  e  $\log_e W = f_W(t)$ , então  $W_M/W = \exp[f_M(t) - f_W(t)]$ .

#### 2.5.9.8 Coeficiente alométrico

O coeficiente alométrico (K) entre a parte radicular e a parte aérea foi obtida a partir da expressão  $R_W = bS_W^K$ , em que b é uma constante;  $R_W$  é a massa seca da raiz estimada pelo modelo acima; e  $S_W$  é a massa seca real da parte aérea.

O método de cálculo utilizado foi o seguinte: a função  $\log R_W = f(\log S_W)$  foi ajustada como uma regressão linear da forma  $\log R_W = \log b + K \log S_W$ . Assim, obtiveram-se os valores de K e, realizando o antilog de b, obteve-se o valor de b utilizado no modelo.

#### 2.5.9.9 Taxa assimilatória líquida

A taxa assimilatória líquida instantânea ( $E_L$ ) foi obtida de funções ajustadas a  $LW$  e a  $\log_e L_A$  versus t; se  $\log_e W = f_W(t)$  e  $\log_e L_A = f_L(t)$ , então,  $E_L = (1/L_A)(dW/dt) = f_W'(t) \cdot \exp[f_W(t) - f_L(t)]$ .

#### 2.5.9.10 Duração de área foliar

A duração de área foliar (LAD) foi obtida da integração da função  $L = f_{LAI}(t)$ , entre os limites  $t_1$  e  $t_2$ , sendo  $t_1$  a data inicial de medições de LAI e  $t_2$  a data de máximo LAI. O mesmo procedimento foi utilizado para calcular a duração da biomassa (BMD).

### 2.5.10 Eficiência de uso da água

O uso eficiente da água (UEA) foi calculado, dividindo-se o valor da matéria seca, obtida da curva ajustada aos dados amostrados, pelo valor do volume de água evapotranspirado no mesmo período. Considerou-se que toda a água aplicada foi evapotranspirada.

O final da fase de enchimento de grãos e do ciclo total foi considerado como sendo a data de máximo acúmulo de matéria seca. Para determinação do UEA quanto à produção de grãos, dividiu-se o valor da MS de grãos (g) pelo valor da massa de água evapotranspirada durante todo o período (kg), ou seja, desde a semeadura até R8.

Para os tratamentos irrigado por todo o período (IPTP) e irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), o valor da lâmina de água aplicada em cada período foi encontrado, somando-se o valor da precipitação ao valor da água aplicada por irrigação. Para os tratamentos não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não irrigado na fase de florescimento (NIFF), aplicou-se o mesmo critério quando as parcelas encontravam-se sem a cobertura plástica, ou seja, da semeadura até aos 17 DAS e após 52 DAS até R8 para NIFV. No período inicial, até aos 17 DAS, o tratamento NIFV não recebeu irrigação, mas somente água da chuva. Para o NIFF, da semeadura até aos 17 DAS e após os 74 DAS até R8. Durante o período de estresse, considerou-se que a água perdida pela cultura foi igual ao valor da evapotranspiração da cultura (ETc), sendo este valor utilizado no cálculo do UEA.

Em todos os tratamentos, o UEA foi determinado nas fases vegetativa, (Veg.), florescimento (Flor.), enchimento de grãos (EGr.), ciclo total (CT) e produção de grãos (Gr).

### 2.5.11 Radiação no dossel

#### 2.5.11.1 Radiação solar interceptada

As medições da RFA foram efetuadas, a cada dois dias ao meio-dia solar, utilizando-se um ceptômetro (Delta T - Devices). Foram efetuadas dez medições em quatro níveis dentro do dossel, uma superior (acima do dossel), duas intermediárias e outra inferior (abaixo do dossel).

A quantidade de radiação solar interceptada ( $F$ ) ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ) pelo dossel foi calculada como  $f = s - T$ , em que,  $s$  = RFA incidente imediatamente acima do dossel ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ); e  $T$  = radiação transmitida à parte inferior do dossel ( $\mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ ).

A fração de radiação interceptada ( $f$ ) foi obtida, dividindo-se o segundo termo da equação ( $s - T$ ) pela radiação incidente ( $s$ ).

A quantidade de RFA diária interceptada foi calculada, multiplicando-se a radiação fotossinteticamente ativa diária incidente pela fração interceptada, sendo que a RFA diária foi considerada como sendo 44,35% da radiação global diária.

### 2.5.11.2 Coeficiente de extinção da luz

Aos dados da percentagem de PAR interceptada, obtidos ao meio-dia solar, com medições acima e abaixo do dossel por meio do aparelho ceptômetro, e aos dados de IAF obtidos ao longo do ciclo da cultura, foi ajustada uma curva (modelo logístico aos dados de percentagem de radiação interceptada e modelo de Gauss aos dados de IAF). Obtidas as curvas, seus valores foram aplicados ao modelo de MONSI e SAEKI (1953) logaritimizado,  $k = \frac{-\ln(I/I_0)}{L}$ , em que,  $I$  e  $I_0$  são os fluxos de radiação fotossinteticamente ativa abaixo e acima do dossel vegetativo ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ );  $k$  é o coeficiente de extinção da luz no dossel (adimensional); e  $L$  o índice de área foliar (adimensional), e obteve-se um valor de  $k$  médio.

### 2.5.11.3 Eficiência de utilização da radiação

A relação de Monteith (MONTEITH, 1977) entre matéria seca acumulada e radiação solar interceptada por uma cultura foi utilizada, para estimar o valor da EUR para cada tratamento, nas diferentes fases de desenvolvimento. Os valores de EUR foram estimados, para cada tratamento, por meio de uma regressão linear entre PAR acumulada e matéria seca, sendo a EUR a inclinação da reta ajustada.

Os valores acumulados de matéria seca e radiação, foram obtidos de funções ajustadas aos dados originais, amostrados no campo, sendo que a radiação no topo do dossel, para os tratamentos ISFV, NIFV e NIFF, foi multiplicada pelos fatores de correção do sombreamento, ou seja, 0,6057, 0,2329 e 0,2443, respectivamente. Estes fatores foram aplicados de 19 até 55 DAS para ISFV, de 17 até 53 DAS para NIFV e de 17 até 75 DAS para NIFF, períodos estes em que os respectivos tratamentos ficaram cobertos.

## **2.6 Experimento conduzido em 1998/99**

Neste experimento, além das determinações realizadas no experimento do ano de 1997/98, foi determinada a água no solo e a fotossíntese, além de medições adicionais de crescimento, conforme descritas a seguir. Em virtude do número de variáveis medidas neste experimento, o número de repetições foi reduzido de três para duas.

### **2.6.1 Semeadura e emergência**

O experimento foi conduzido na estação experimental Vila Chaves, Campus da UFV. A semeadura foi realizada no dia 09/12/1998, a uma alta densidade de 100 sementes por metro quadrado (70 sementes metro<sup>-1</sup>), em fileiras espaçadas de 0,7 m. Os sulcos de semeadura foram adubados com 60 kg de K<sub>2</sub>O ha<sup>-1</sup> e 120 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> ha<sup>-1</sup>, na forma de cloreto de potássio (KCl) e superfosfato simples (SS), respectivamente, correspondendo a 400 kg ha<sup>-1</sup> da fórmula 0-30-15 (NPK). A calagem do solo não foi feita, em virtude da ausência de Al<sup>3+</sup> e da soma de Ca<sup>2+</sup> e Mg<sup>2+</sup> ser maior que 2 cmol<sub>c</sub> dm<sup>-3</sup>. A semente foi tratada com fungicida e inoculada com cepa 2930 de *Bradyrhizobium japonicum*. A emergência ocorreu no dia 20/12/1998.

### **2.6.2 Crescimento da cultura**

A partição de fotoassimilados, o acúmulo de matéria seca (MS) e a área foliar foram verificados, desde o período de crescimento inicial da cultura (4 DAE) até à instalação completa da cultura no campo (25/01/1998), nas plantas coletadas a cada dois dias. A partir desta data até o final do ciclo, a verificação foi feita a cada sete dias.

### **2.6.3 Tratamentos e delineamento experimental**

Devido à falta de irrigação na época de implantação do experimento e à falta de chuva, os tratamentos não foram todos aplicados em uma mesma data. No dia 23/12/1998 (3 DAE), instalou-se o tratamento de sombreamento, e as parcelas dos tratamentos NIFV e NIFF receberam as coberturas plásticas, as quais só foram retiradas no final do ciclo. Desde esta data até 04/01/1999 (15 DAE), foi realizado um replante para corrigir as falhas na germinação e, assim, aumentar o estande, dentro das parcelas, de 12 plantas m<sup>-2</sup> para uma densidade média de 20 plantas m<sup>-2</sup>. O tratamento NIFV só foi implantado aos 17 DAS.

O experimento consistiu de quatro tratamentos: irrigado durante todo o período em que a cultura permaneceu no campo (IPTP); irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV); não irrigado na fase vegetativa (NIFV); e não irrigado na fase de florescimento (NIFF).

As unidades experimentais de 6,0 m por 10,5 m, separadas por uma bordadura de 3,0 m, foram agrupadas em dois blocos separados entre si por uma bordadura de 3,5 m. Foi utilizado o delineamento experimental em blocos casualizados, com duas repetições (Figura 2.3). Para verificar a evolução do acúmulo de matéria seca (MS), índice de área foliar (LAI), área foliar específica (SLA), altura de planta, partição de fotoassimilados, número de flores, número de vagens, taxa de crescimento absoluto (TCA) e taxa de crescimento relativo (RGR), utilizou-se um esquema experimental de parcelas subdivididas, sendo as parcelas principais os tratamentos e as subparcelas as épocas de amostragem. Para estimativa da produção final e da massa de 100 grãos, utilizou-se um delineamento experimental de repetição dentro de blocos, utilizando-se 10 repetições por parcela. Para as demais características analisadas, utilizou-se apenas o delineamento em blocos casualizados com duas repetições, sendo as repetições uma média de 10 plantas, amostradas em linha contínua, por unidade experimental.

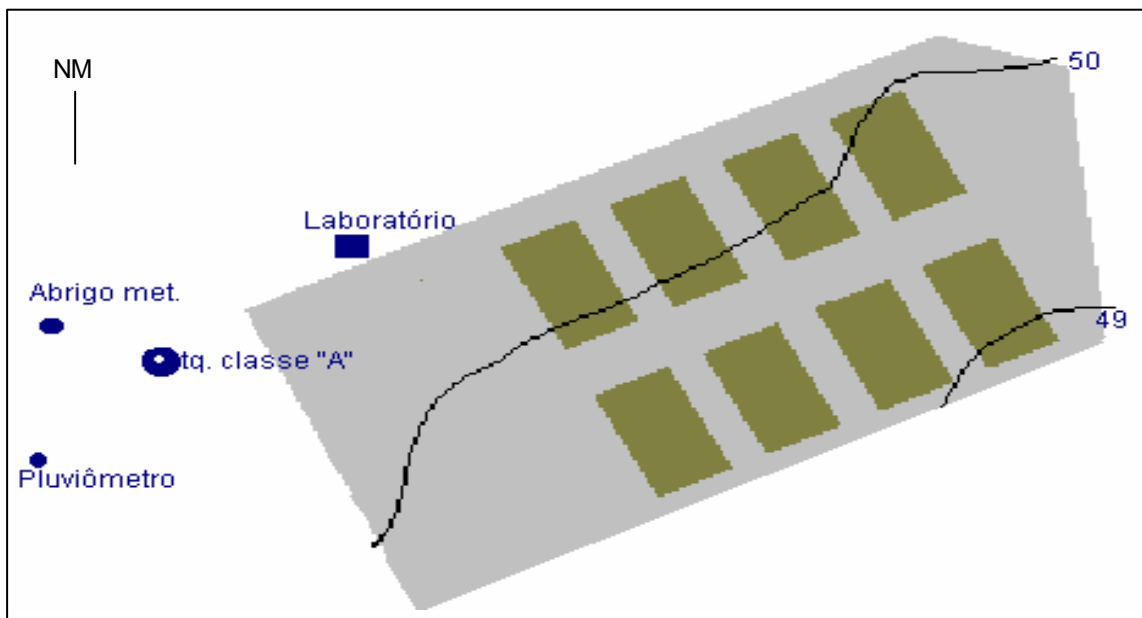


Figura 2.3 – Croqui do campo experimental, representando as parcelas, o desnível do terreno e pontos de localização de instrumentos utilizados para auxiliar o manejo da cultura no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

#### **2.6.4 Tratos culturais**

O controle de plantas daninhas foi realizado, manualmente, em duas capinas, aos 19 e 33 DAE. Durante o ciclo da cultura, não foi observada incidência de pragas e doenças em níveis significativos.

#### **2.6.5 Fenologia**

Para determinar o final de uma fase e o início de outra, utilizou-se o sistema de classificação de estágio de desenvolvimento, proposto por FEHR e CAVINESS (1977) (Quadro 2.1). O final da fase vegetativa e início da fase de florescimento foi determinado, quando se verificou a ocorrência de 50 % de plantas com, pelo menos, uma flor aberta (R1). O final da fase de florescimento e início da fase de enchimento de grãos foi determinado, quando se observou a ocorrência de 50% de plantas contendo vagens, localizadas em um dos quatro nós superiores da haste principal, com sementes de 3 mm de comprimento (R5).

#### **2.6.6 Sistema de irrigação**

O sistema de irrigação utilizado, para complementar a precipitação, foi o SANTENO, nos mesmos moldes utilizados no ano anterior, iniciando a irrigação aos 12 DAS. Neste ano foram utilizadas oito linhas de derivação.

#### **2.6.7 Amostras e medidas para determinação do crescimento**

Para verificar a evolução da MS e do LAI, foram feitas coletas de 10 plantas por parcela, a cada dois dias, do quarto DAE até os 36 dias após a emergência (DAE); a partir desta data, a cada sete dias até o final do ciclo. A parcela foi dividida em 24 subparcelas, dentre as quais a coleta era sorteada a cada amostragem. A subparcela era constituída de 10 plantas, tendo como bordadura três plantas em cada extremidade e uma fileira de cada lado da linha de amostragem. As plantas foram retiradas com todo o sistema radicular, cavando-se trincheiras com auxílio de enxadão, o qual foi lavado para remoção do solo aderido às raízes. A partição de fotoassimilados foi verificada, separando-se as plantas em raiz, caule e folhas, durante a fase vegetativa. Nas fases seguintes, a separação incluiu flores, vagens e grãos, além das partes citadas anteriormente. Após a separação, as partes das plantas foram secadas em estufa a 75 °C

com ventilação forçada, por 72 horas, sendo depois pesadas. Para cada parte separada, foi realizado um estudo comparativo entre tratamentos, em termos de evolução ao longo do ciclo. A área foliar de cada tratamento, em cada coleta, foi obtida por meio de um integrador de área foliar (Modelo LI - 3100, LICOR, Inc.).

A evolução da altura das plantas foi acompanhada, em cada tratamento, até aos 70 DAE, medindo-se o comprimento de 10 plantas por unidade experimental, desde o nível do solo até o ápice da planta, sendo então, calculada a média da altura das 10 plantas de cada parcela, para representar o bloco.

A altura de inserção da primeira vagem foi obtida, após o estágio reprodutivo R8, de uma média de 10 plantas por unidade experimental, medindo-se a distância do nível do solo ao ponto de inserção da primeira vagem na haste principal.

A evolução no número de flores foi verificada nos seguintes DAE: 38, 40, 42, 44, 46, 48, 50, 52, 54, 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68 e 70, e a evolução no número de vagens nos seguintes DAE: 56, 58, 60, 62, 64, 66, 68, 70 e 75. A verificação foi feita em 10 plantas amostradas.

#### **2.6.8 Produtividade de grãos**

A produtividade final de grãos e massa de 100 grãos foi estimada, por meio da amostragem de 10 metros de fileira por unidade experimental, onde cada metro de fileira de plantas foi colhido, ao acaso, dentro da unidade experimental.

#### **2.6.9 Análise de crescimento**

A análise de crescimento foi realizada com o auxílio do software Curve Expert, sendo as características analisadas neste experimento as mesmas do ano anterior.

#### **2.6.10 Uso eficiente de água**

O uso eficiente de água foi calculado para os mesmos períodos, adotando-se a metodologia do experimento do ano anterior. Vale ressaltar que, neste ensaio, a água evapotranspirada nos tratamentos sob estresse hídrico foi determinada, utilizando-se os valores de umidade do solo obtidos por meio da sonda de nêutrons. No tratamento NIFV, considerou-se uma camada de solo de 40 cm, enquanto no NIFF considerou-se uma camada de 80 cm para essas determinações.

Neste ensaio, os tratamentos sob estresse hídrico (NIFV e NIFF) foram mantidos sob cobertura plástica dos 14 DAS até o final do ciclo.

A lâmina evapotranspirada por NIFV, na fase vegetativa, foi considerada como sendo aquela proveniente da chuva, desde a semeadura até aos 11 DAS; a lâmina proveniente da irrigação de 12 DAS aos 26 DAS (neste período se procedeu ao replante para completar o estande de plantas); e de 27 DAS até aos 55 DAS a depleção de água no solo obtida por sonda de nêutrons.

No tratamento NIFF, durante a fase de florescimento, a lâmina evapotranspirada foi aquela verificada por sonda de nêutrons.

### 2.6.11 Radiação no dossel

A radiação no dossel passou por tratamento igual àquele realizado no ano anterior, sendo que, neste ano, os fatores de correção do sombreamento foram aplicados de 16 até 57 DAS para ISFV e de 15 até 116 DAS para NIFV e NIFF, períodos estes em que os respectivos tratamentos ficaram cobertos. Os fatores de correção da radiação no topo do dossel, isto é, 0,6057, 0,2329 e 0,2443 para ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente, foram os mesmos do experimento anterior. Estes fatores foram obtidos da razão entre radiação no topo do dossel, nos tratamentos cobertos, e radiação no topo do dossel no tratamento IPTP (não coberto).

### 2.6.12 Água no solo

O teor de água no solo foi verificado por meio de uma sonda de nêutrons, ao longo do ciclo da cultura, a cada dois dias, às profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm. A sonda foi calibrada, fazendo-se a determinação simultânea, no campo, da umidade volumétrica e da contagem relativa de nêutrons atenuados em diferentes conteúdos de água. Ajustou-se uma equação de regressão linear relacionando a contagem relativa ( $CR = \text{contagem-solo}/\text{contagem-padrão}$ ) à umidade volumétrica ( $\theta$ ) na forma  $CR = aq + b$ .

O teor de água no solo ( $\theta$ ) pode ser obtido pela expressão  $q = (\frac{CS}{CP} - b)/a$  em que,  $q$  é a umidade do solo ( $\text{cm}^3\text{cm}^{-3}$ );  $CS$  é o número de nêutrons atenuados ou contagem no solo;  $CP$  é o número de nêutrons atenuados na contagem padrão (realizada dentro d'água); e,  $a$  e  $b$  os parâmetros da equação ajustada na calibração.

Para toda verificação do teor de água no solo, realizou-se a determinação da contagem padrão.

O valor de  $\Delta q$  (cm) multiplicado por 10 para passar para milímetro e multiplicado pela profundidade da camada amostrada (cm) forneceu o valor da lâmina em mm, na camada.

A capacidade de campo (51,5393%) e o ponto-de-murcha permanente (30,8264%) foram determinados, para o perfil de 0 a 90 cm (% em volume/volume) (Figura 28A).

### **2.6.13 Fotossíntese**

A fotossíntese foi medida em folhas de soja (terceira a partir do ápice), nos diversos tratamentos, ao final da fase vegetativa (30/01/1999), na fase de florescimento (20/02/1999) e na fase de enchimento de grãos (18/03/1999), utilizando-se um medidor de fotossíntese (PP – SYSTEMS CIRAS-1). Também foram registrados valores de condutância estomática, transpiração, razão de transpiração e eficiência de uso da água.

### **2.7 Análise estatística**

Foi realizada usando-se os softwares STATISTICA, ORIGIN40 e CurveExpert 1.2. O teste de LEITE & OLIVEIRA (2002) em nível de 5 % de probabilidade, foi utilizado para auxílio na discussão dos resultados.

### **3. CONDIÇÕES AMBIENTAIS (ATMOSFERA E SOLO)**

#### **3.1 Introdução**

Neste capítulo, é descrito o ambiente no qual foram conduzidos os experimentos de 1997/98 e 1998/99. A seguir, são descritas as condições meteorológicas e de umidade do solo.

#### **3.2 Condições meteorológicas**

O ambiente foi descrito pela análise dos elementos climáticos, ao longo do ciclo da cultura. Os elementos aqui apresentados são: radiação solar global; saldo de radiação; temperaturas média, mínima e máxima; precipitação; umidade relativa média; pressão de vapor d'água; razão de insolação; e evapotranspiração.

##### **3.2.1 Radiação solar**

Seguem-se as descrições sobre a variação temporal da radiação solar, nos experimentos conduzidos em 1997/98 e 1998/99.

###### **3.2.1.1 Razão de insolação**

A razão de insolação que relaciona o número de horas de brilho solar com o comprimento astronômico do dia, para os ensaios de 1997/98 e 1998/99, é apresentada na Figura 3.1.

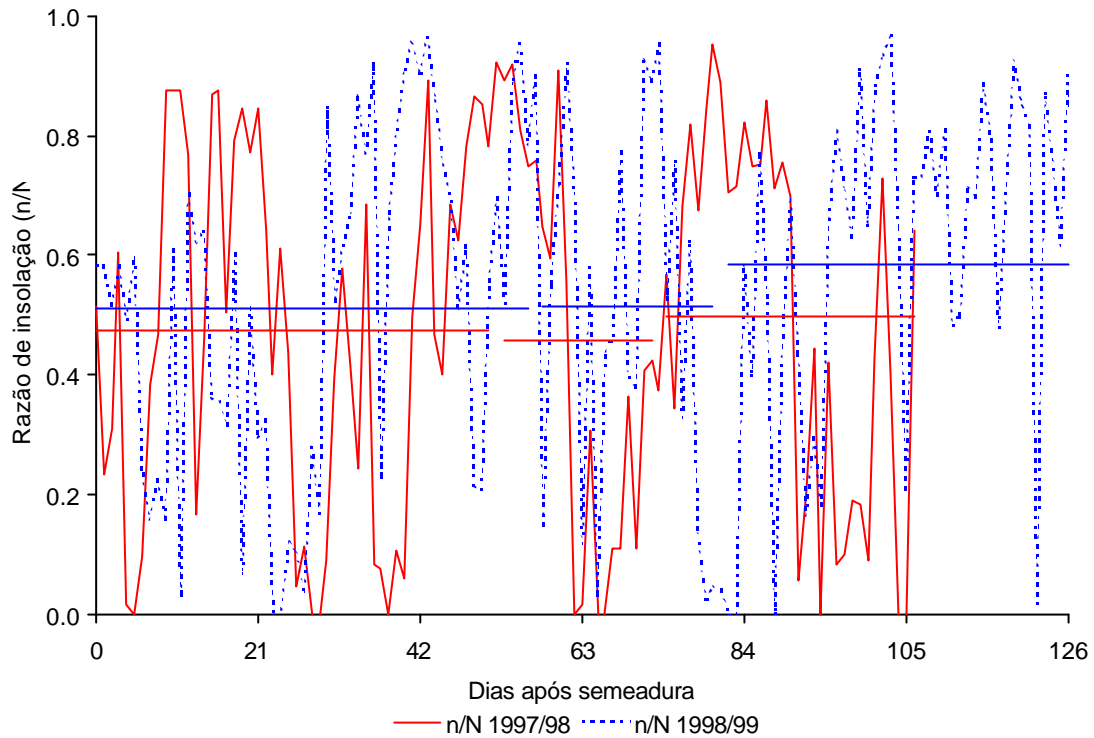


Figura 3.1 – Razão de insolação para o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 (n/N 1997/98) e para o período de 09/12/1998 a 15/04/1999 (n/N 1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

Verificou-se que, no início da fase vegetativa, o ensaio de 1997/98 apresentou valores maiores que aqueles obtidos no mesmo período no ensaio de 1998/99, ocorrendo o inverso para o final da mesma fase. Tal ocorrência resultou um valor médio para a fase vegetativa maior em 1998/99 (0,51) do que em 1997/98 (0,47), ou seja, em 1997/98, a fase vegetativa apresentou um número maior de dias com maior nebulosidade.

Na fase de florescimento, o ensaio de 1998/99 manteve a mesma média (0,51), enquanto aquele de 1997/98 teve sua média diminuída, em relação à fase anterior, apresentando um valor de 0,46. Tal fato ocorreu em razão de um período maior de dias nublados, na segunda parte da fase, sendo que, embora apresentando maior oscilação, o ensaio de 1998/99 atingiu valores mais elevados.

Na fase de enchimento de grãos, o ensaio de 1998/99 apresentou um valor médio de 0,59, ao passo que o de 1997/98 apresentou um valor de 0,50. Esta alta média explica-se pelo fato de que em 80% da fase de enchimento de grãos, aproximadamente, o ensaio de 1998/99 apresentou altos valores de insolação, enquanto o de 1997/98 apresentou dias nublados em cerca de 50% da mesma fase.

Vale ressaltar que 1997/98 apresentou espaços de tempo com alta insolação de forma mais constante, ou seja, na fase vegetativa, de 8 a 26 DAS, do final da fase vegetativa até metade da fase de florescimento, isto é, de 42 a 62 DAS, e na fase de enchimento de grãos de 75 até 91 DAS. O ensaio de 1998/99 apresentou alta insolação na segunda metade da fase vegetativa, ou seja, de 30 a 58 DAS. Na fase de florescimento, de 59 a 63 DAS, e de 70 a 76 DAS, já na fase de enchimento de grãos, ocorreu alta insolação por quase toda ela, ou seja, de 94 DAS ao final do ciclo, ressaltando que, nesse ensaio, houve maior oscilação ao longo do ciclo do que no ensaio de 1997/98.

### **3.2.1.2 Radiação solar global e PAR**

A radiação solar global ( $R_g$ ), ao longo do experimento conduzido em 1997/98, sofreu oscilações normais, apresentando valores médios bem próximos nas fases vegetativa e de florescimento, ou seja, 16,88 e 17,09 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3.2). O leve aumento no valor médio, durante a fase de florescimento, foi devido ao curto período da fase, em que ocorreram altos valores de radiação global. Esses maiores valores ocorreram em razão de o valor do coeficiente  $a$  da equação de Angstrom-PreScott ser maior para o mês de fevereiro, quando ocorreu a fase de florescimento. Na fase de enchimento de grãos, os valores de  $R_g$  tenderam a diminuir ao final da fase devido à diminuição no ângulo de elevação solar, à ocorrência de dias mais curtos, bem como de nuvens ao final da fase, sendo que o valor médio, para a fase, foi de 16,14 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>.

Ao longo do ciclo, a radiação solar global apresentou um comportamento muito semelhante àquele da razão de insolação (Figura 3.1), embora de forma mais suave, uma vez que outros fatores influenciam a determinação da  $R_g$ .

A radiação PAR seguiu a mesma tendência, representando 44,35% da  $R_g$ .

Durante o experimento de 1998/99, a radiação solar global oscilou de forma normal, embora durante a primeira parte da fase vegetativa tenha permanecido maior tempo abaixo da média da fase (17,51 MJ m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>) devido à baixa razão de insolação durante este período, sendo que, na segunda parte desta fase houve uma alta incidência de  $R_g$  devido à ocorrência de maior número de dias com céu limpo (Figura 3.3).

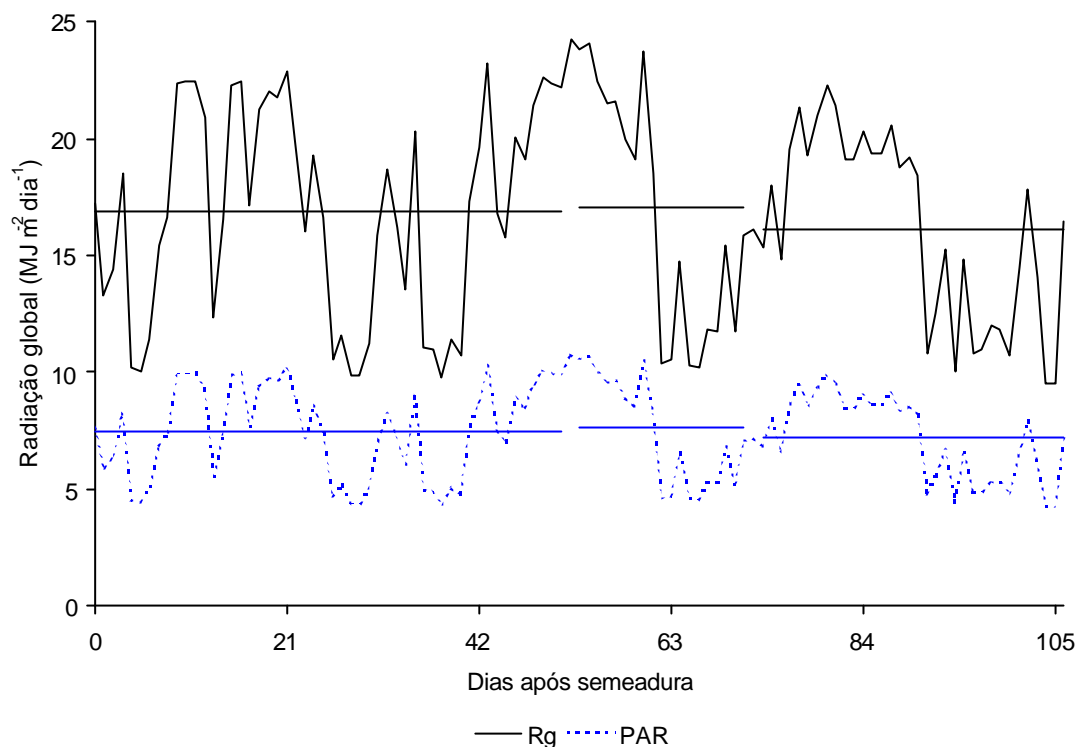


Figura 3.2 – Radiação solar global (Rg) e fotossinteticamente ativa (PAR) incidentes durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

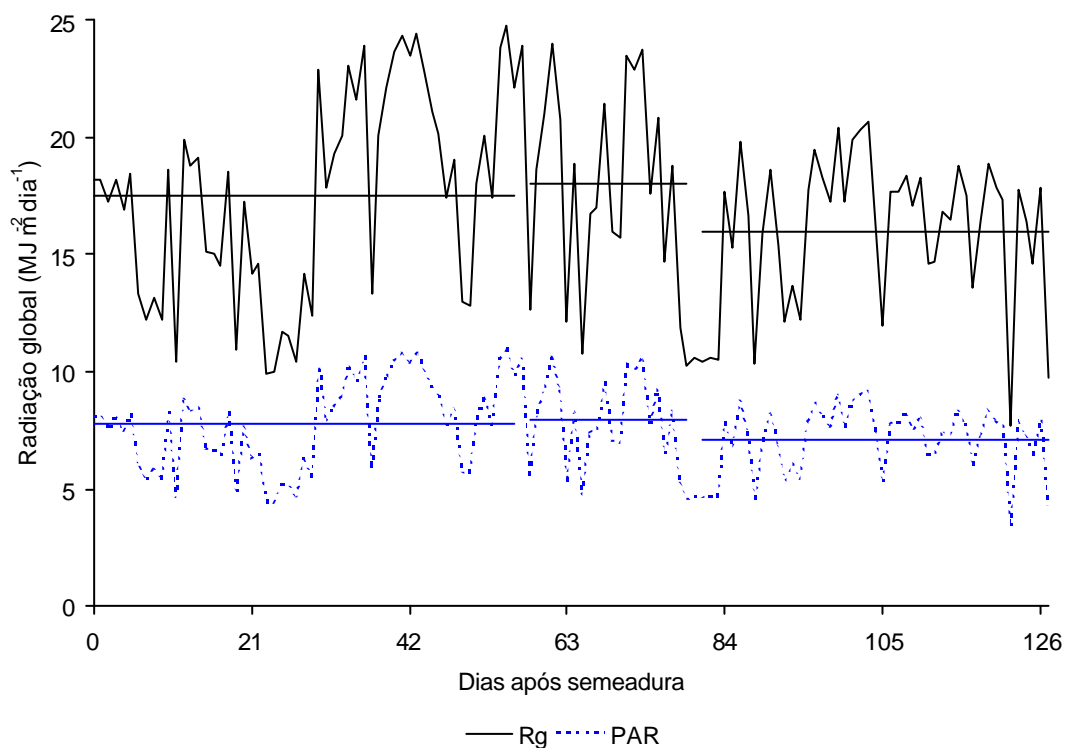


Figura 3.3 – Radiação solar global (Rg) e fotossinteticamente ativa (PAR) incidentes durante o período de 09/12/1998 a 15/04/1999, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

Na fase de florescimento, houve boa disponibilidade de Rg, que atingiu uma média de  $17,99 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Este valor médio foi superior àquele da fase vegetativa devido à ocorrência de dias com alta insolação.

Na fase de enchimento de grãos, houve visível diminuição nos valores de Rg, sendo o valor médio nesta fase igual a  $15,97 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , apresentando uma diferença de  $2,04 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em relação à fase de florescimento, ou seja,  $1,09 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  a menos do que no ano anterior, em que ocorreu uma diferença de  $0,95 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  entre as médias da fase de florescimento e enchimento de grãos. Esta diminuição foi devida à maior duração da fase de enchimento de grãos, atingindo um período do ano de ocorrência de dias mais curtos com um ângulo de elevação solar cada vez menor, conseqüentemente diminuindo a Rg. A radiação PAR seguiu a mesma tendência, representando 44,35% da Rg.

A radiação solar global incidente nos ensaios de 1997/98 e de 1998/99 apresentou diferenças entre os dois ensaios (Figura 3.4). Nas fases vegetativa e de florescimento, a estação de cultivo de 1998/99 apresentou médias maiores, isto é,  $0,63$  e  $0,90 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente do que a estação de cultivo de 1997/98. A maior Rg

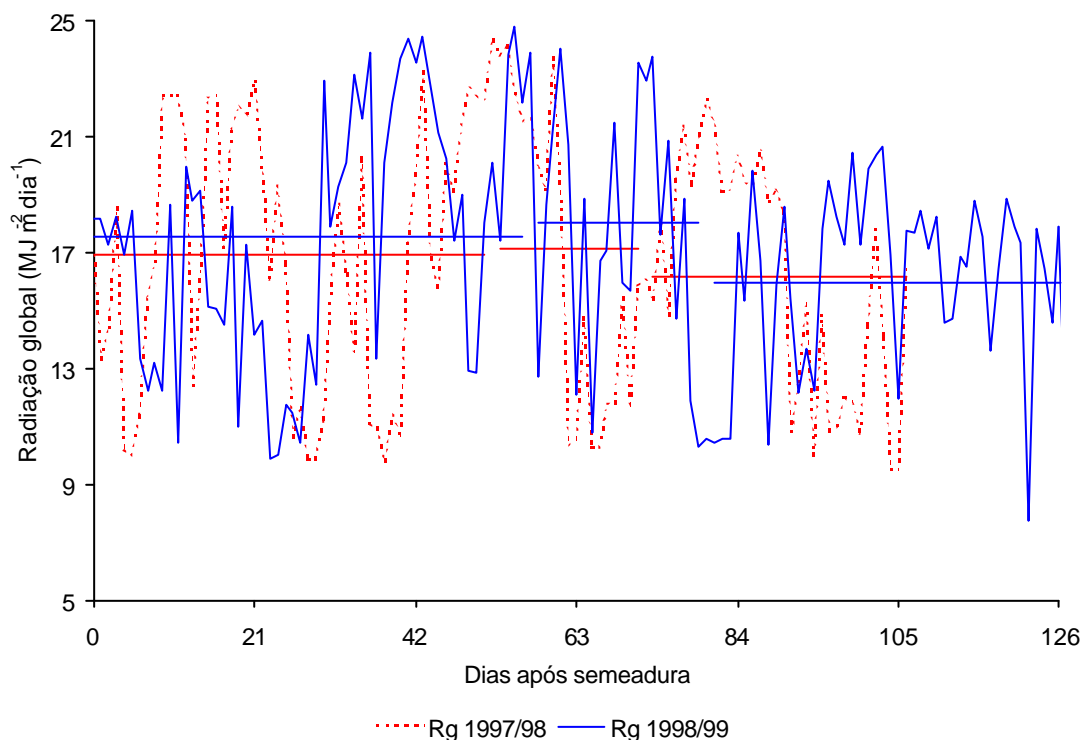


Figura 3.4 – Radiação global durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 (Rg 1997/98) e de 09/12/1998 a 15/04/1999 (Rg 1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

incidente durante as duas primeiras fases da cultura no ensaio de 1998/99, foi devida à ocorrência de maior insolação durante estas fases (Figura 3.1).

Entretanto, na fase de enchimento de grãos, o experimento de 1997/98 recebeu em média  $0,17 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  a mais do que aquele de 1998/99, embora nesta fase, para este experimento, a insolação média tenha sido superior (Figura 3.1). O experimento de 1997/98 foi favorecido, nesta fase, por uma alta insolação na primeira metade da fase, enquanto o experimento de 1998/99 foi prejudicado por uma baixa insolação, no início da fase, e pela maior duração da fase (de enchimento de grãos).

Observou-se ainda, uma maior oscilação ao longo do experimento de 1998/99, enquanto o de 1997/98 apresentou períodos maiores de alta incidência de radiação, ocasionada, principalmente, pela ocorrência de uma maior proporção de dias com céu limpo. Verificou-se que, nas três fases estudadas do ensaio de 1997/98, houve períodos bem homogêneos de alta insolação, o mesmo não ocorrendo em 1998/99. Apesar das diferenças, pode-se considerar que o comportamento da  $R_g$ , durante os dois ensaios, seguiu uma mesma tendência.

O saldo de radiação solar ( $R_n$ ) na fase vegetativa foi, ligeiramente, superior no ensaio de 1998/99,  $10,66 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  contra  $10,60 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  em 1997/98, ou seja,

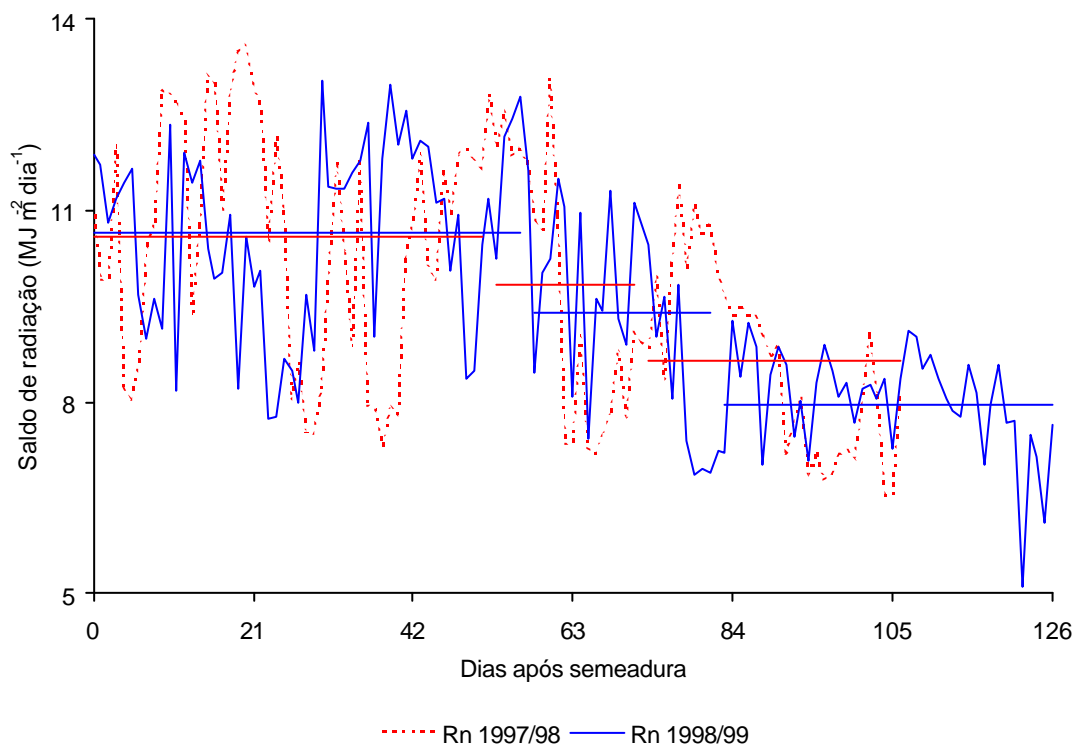


Figura 3.5 – Saldo de radiação solar disponível para a cultura durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 ( $R_n$  1997/98) e de 09/12/1998 a 15/04/1999 ( $R_n$  1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

0,06 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> superior (Figura 3.5), devido à alta incidência de Rg na segunda parte desta fase.

Na fase de florescimento, Rn foi maior no experimento de 1997/98, atingindo um valor médio de 9,84 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, ao passo que no experimento de 1998/99 o valor médio foi de 9,40 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. O ensaio de 1997/98 foi favorecido pela maior quantidade de água na atmosfera, o que impediu a perda de radiação por ondas longas, o que é comprovado pelos valores da razão de insolação nesta fase, ou seja, 0,47 contra 0,51 no ensaio, de 1998/99 (Figura 3.1), representando maior nebulosidade. Aliado a isso, têm-se os valores médios de pressão de vapor, para a fase, de 25,00 hPa contra 23,57 hPa de 1998/99 (Figuras 3.9 e 3.10).

Na fase de enchimento de grãos, os mesmos fatores afetaram Rn, sendo observados os valores de 8,64 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para 1997/98 e 7,96 MJ m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> para 1998/99. A pressão de vapor de 25,34 hPa para 1997/98 contra a pressão de 23,80 hPa para 1998/99, assim como a razão de insolação de 0,50 contra 0,59 para 1998/99 (Figuras 3.1, 3.9 e 3.10) explicam grande parte deste resultado, sendo que, outro fator contribuindo para isto foi a alta incidência de Rg na primeira metade desta fase em 1997/98 (Figura 3.4).

### 3.2.2 Temperatura

As temperaturas máxima, mínima e média no ensaio de 1997/98 seguiram a mesma tendência da incidência de Rg (Figura 3.6). Os valores médios de temperatura máxima para as fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos foram 30,1, 30,7 e 29,8 °C e as mínimas, para as mesmas fases, foram 19,8, 19,8 e 19,4 °C, respectivamente. As temperaturas médias das fases foram 24,9, 25,3 e 24,6 °C. Este ensaio apresentou uma amplitude térmica, nas três fases, de 10,3, 10,9 e 10,4, respectivamente. Este resultado demonstra que a fase vegetativa esteve sob uma atmosfera, em termos médios, com maior teor de água, sendo a fase de florescimento a que esteve em uma atmosfera mais seca.

No ensaio de 1998/99, as temperaturas máximas para as fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos foram 29,8, 29,8 e 28,7 °C, respectivamente. As mínimas foram 18,6, 18,5 e 17,7 °C e as médias 24,2, 24,2 e 23,2 °C, respectivamente, para as fases estudadas (Figura 3.7).

Verificou-se uma amplitude térmica de 11,2, 11,3 e 11 °C, respectivamente. Este ciclo apresentou, em termos médios, a fase de florescimento como a de atmosfera mais

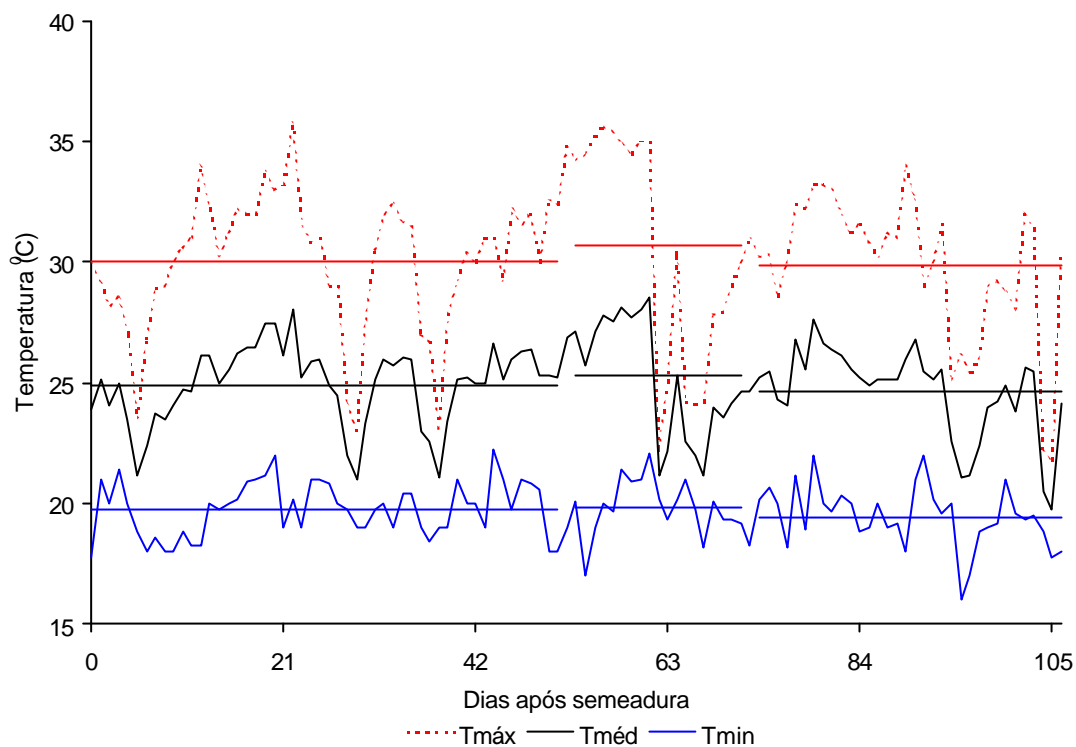


Figura 3.6 – Temperaturas máxima, média e mínima durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

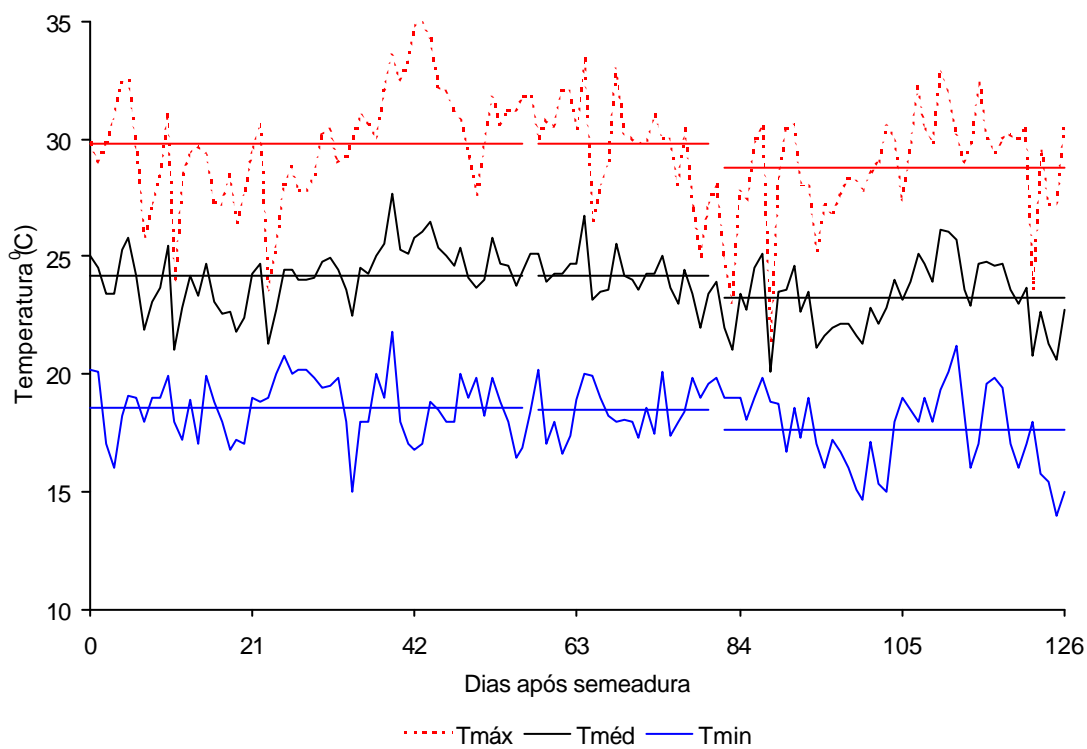


Figura 3.7 – Temperaturas máxima, média e mínima no período de 09/12/1998 a 15/04/1999, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

seca, como ocorrido em 1997/98, sendo que, neste ano, a fase de enchimento de grãos foi a mais úmida.

As temperaturas médias dos dois ensaios, ao longo do ciclo da cultura, apresentaram uma diferença entre o ano de 1997/98 e o ano de 1998/99, sendo os valores em todas as fases, superiores no primeiro ensaio (Figura 3.8). Na fase vegetativa, os valores médios foram 24,9 e 24,2 °C para o primeiro e segundo experimento, respectivamente, enquanto na fase de florescimento foram 25,3 e 24,2 °C e, na fase de enchimento de grãos, 24,6 e 23,2 °C. O ensaio de 1997/98 transcorreu, em média sob uma temperatura mais elevada em 0,7, 1,1 e 1,4 °C nas fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos, respectivamente.

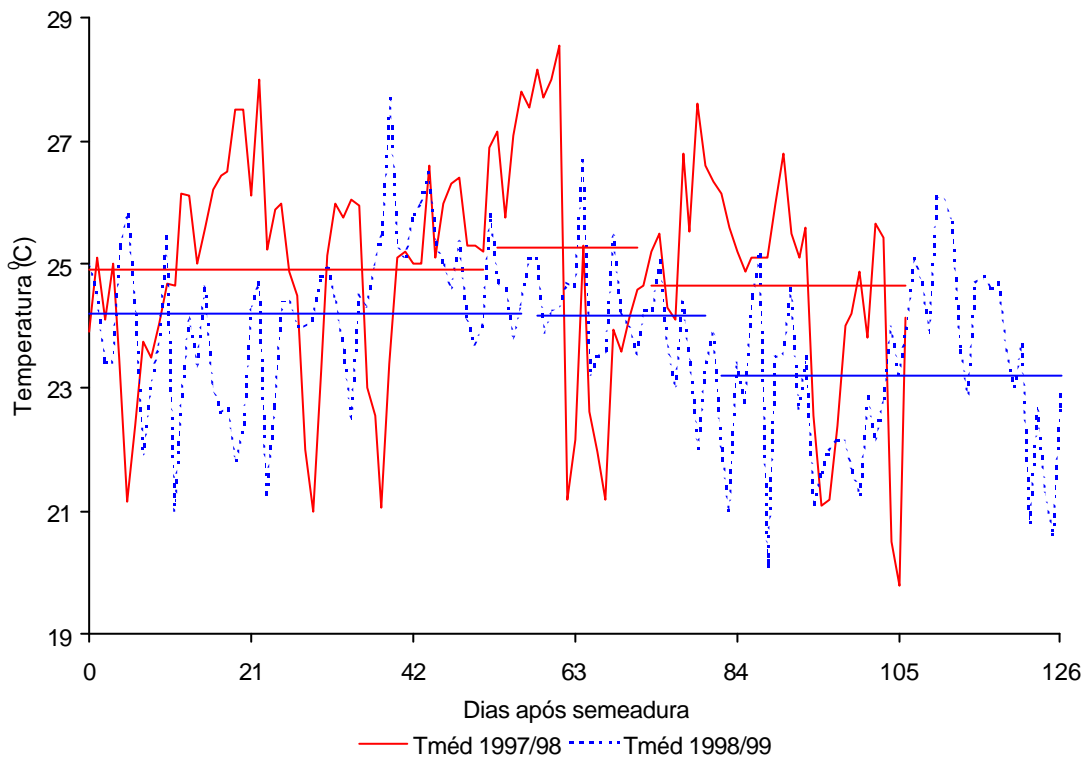


Figura 3.8 – Temperatura média para o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 (Tméd 1997/98) e para o período de 09/12/1998 a 15/04/1999 (Tméd 1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

As temperaturas mais elevadas em 1997/98 podem ser explicadas pela ocorrência do fenômeno “el niño”, que pode ter ocasionado a maior umidade atmosférica representada pela pressão de vapor (Figuras 3.9 e 3.10), agindo de forma a intensificar o efeito estufa em virtude da maior barreira às ondas longas.

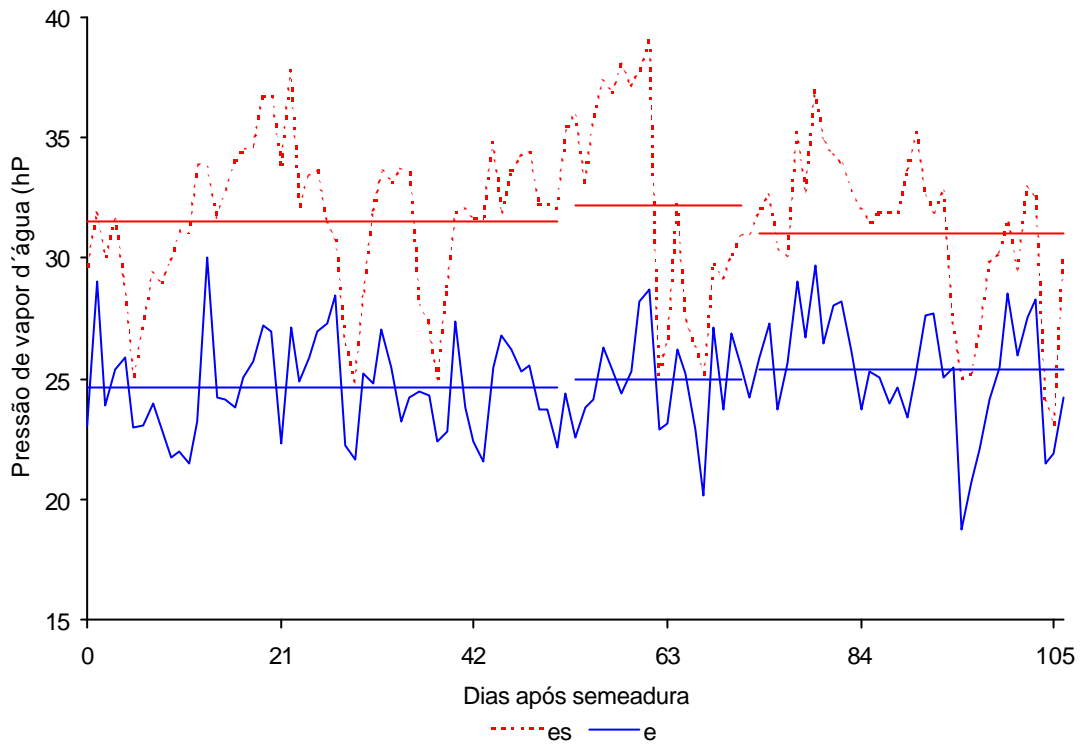


Figura 3.9 – Pressão de vapor d’água real ( $e$ ) e pressão de vapor d’água no ponto de saturação ( $e_s$ ) durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

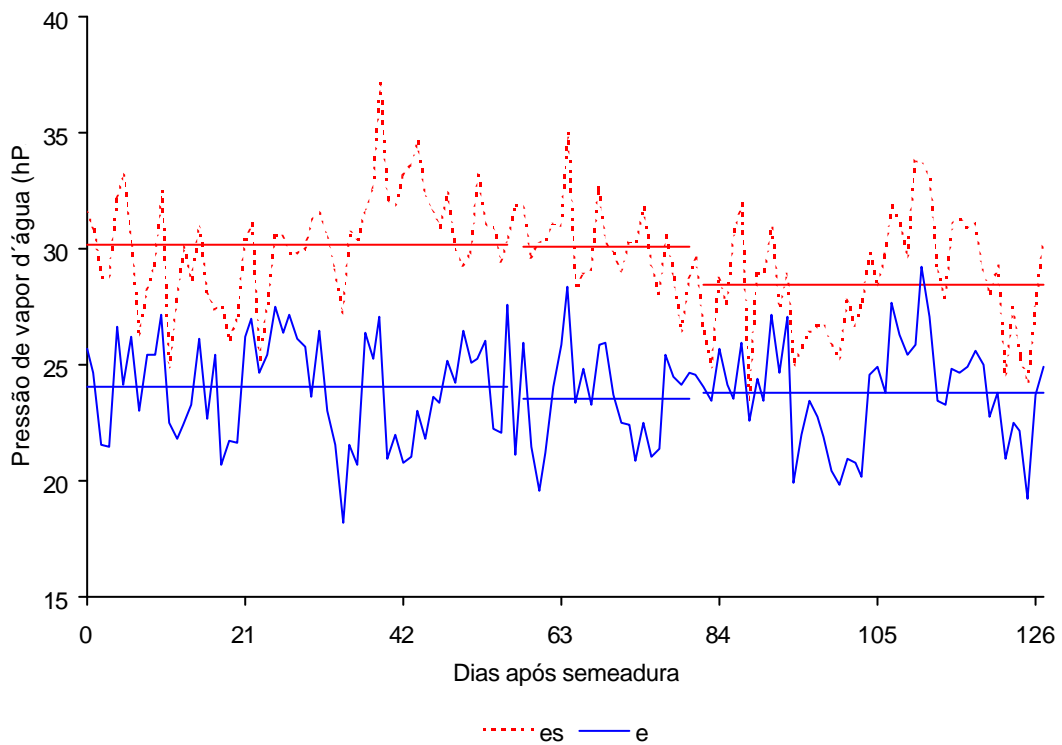


Figura 3.10 – Pressão de vapor d’água real ( $e$ ) e pressão de vapor d’água no ponto de saturação ( $e_s$ ) durante o período de 09/12/1998 a 15/04/1999, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

### 3.2.3 Pressão de vapor d'água

A pressão de vapor d'água foi maior durante o ensaio de 1997/98, em relação ao ensaio de 1998/99, sendo, na fase vegetativa, 24,66 hPa contra 24,11 hPa no ensaio de 1998/99, enquanto na fase de florescimento foi 25,00 hPa contra 23,54 hPa e, na fase de enchimento de grãos, 25,34 hPa contra 23,80 hPa (Figuras 3.9 e 3.10).

A deficiência de pressão de vapor (Figura 3.11) foi maior ao longo de todo o ciclo, em 1997/98, demonstrando a maior capacidade de absorção de água da atmosfera (maior Deficiência de pressão de vapor d'água) durante este ensaio devido, também, à maior temperatura média durante todo o ciclo (Figura 3.8).

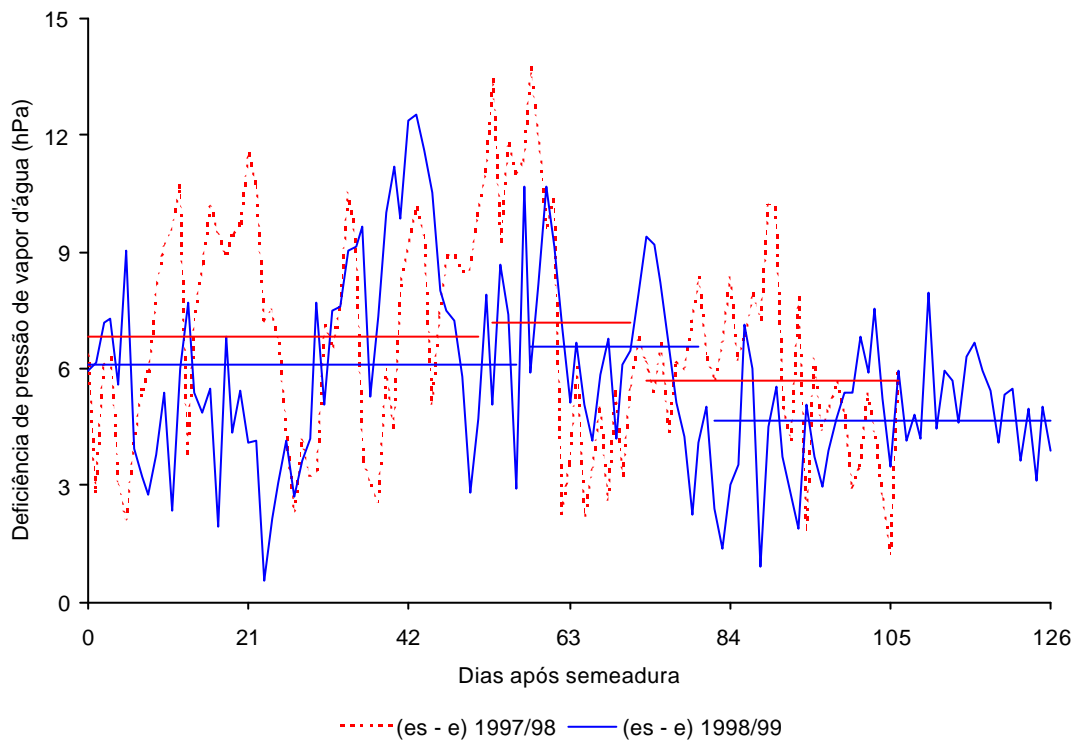


Figura 3.11 – Deficiência de pressão de vapor d'água durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 [ $(e_s - e)$  1997/98] e no período de 09/12/1998 a 15/04/1999 [ $(e_s - e)$  1998/99], nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

### 3.2.4 Umidade relativa

A umidade relativa ao longo dos ciclos estudados (Figura 3.12) foi maior, no experimento de 1998/99, dando suporte ao discutido, anteriormente, de que nesse ano a atmosfera apresentou uma deficiência menor de pressão de vapor de água, tendo, portanto, menor capacidade de absorver água.

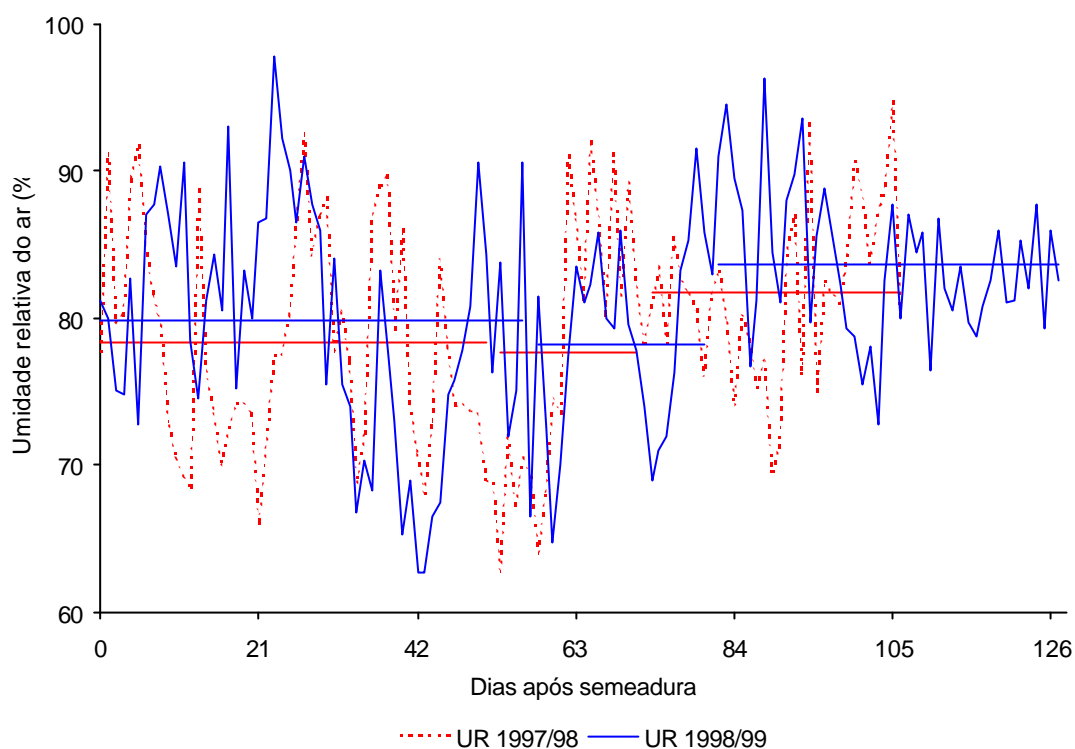


Figura 3.12 – Umidade relativa do ar durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 (UR 1997/98) e no período de 09/12/1998 a 15/04/1999 (UR 1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

Os valores de umidade relativa para as fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos foram 78,29 e 79,83 %; 77,67 e 78,16 %; 81,71 e 83,65%, respectivamente, para 1997/98 e 1998/99 (Figura 3.12).

### 3.2.5 Precipitação e evapotranspiração

A precipitação ao longo dos dois cultivos (Figuras 3.13 e 3.14) ocorreu com boa distribuição, embora tenha sido mais bem distribuída durante o ensaio de 1998/99 (Figura 3.14). No ensaio de 1997/98 houve boa precipitação, no início do ciclo, enquanto dos 8 aos 26 DAS ocorreram três veranicos, sendo o primeiro de cinco, o segundo de sete e o terceiro de três dias, os quais podem ser considerados como os mais importantes da fase vegetativa, para este cultivo. Outro veranico importante neste ensaio ocorreu no final da fase vegetativa e início da fase de florescimento, que durou 20 dias, ou seja, de 42 a 61 DAS. Na fase de enchimento de grãos, as chuvas foram mais espaçadas e ocorreram dois veranicos importantes, sendo um de 74 a 82 DAE (oito dias) e o outro no final da fase, de 86 a 92 DAS (seis dias).

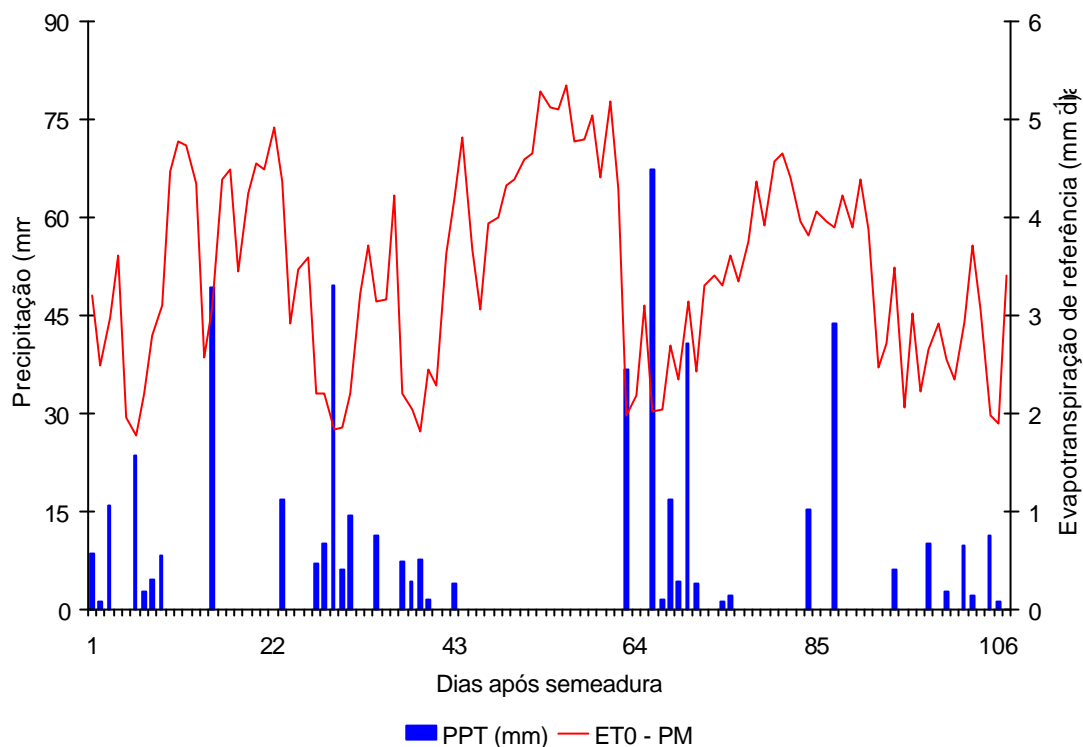


Figura 3.13 – Precipitação (PPT) e evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) durante o período de 12/12/1997 a 28/03/1998, nas condições do ensaio, em Viçosa – MG.

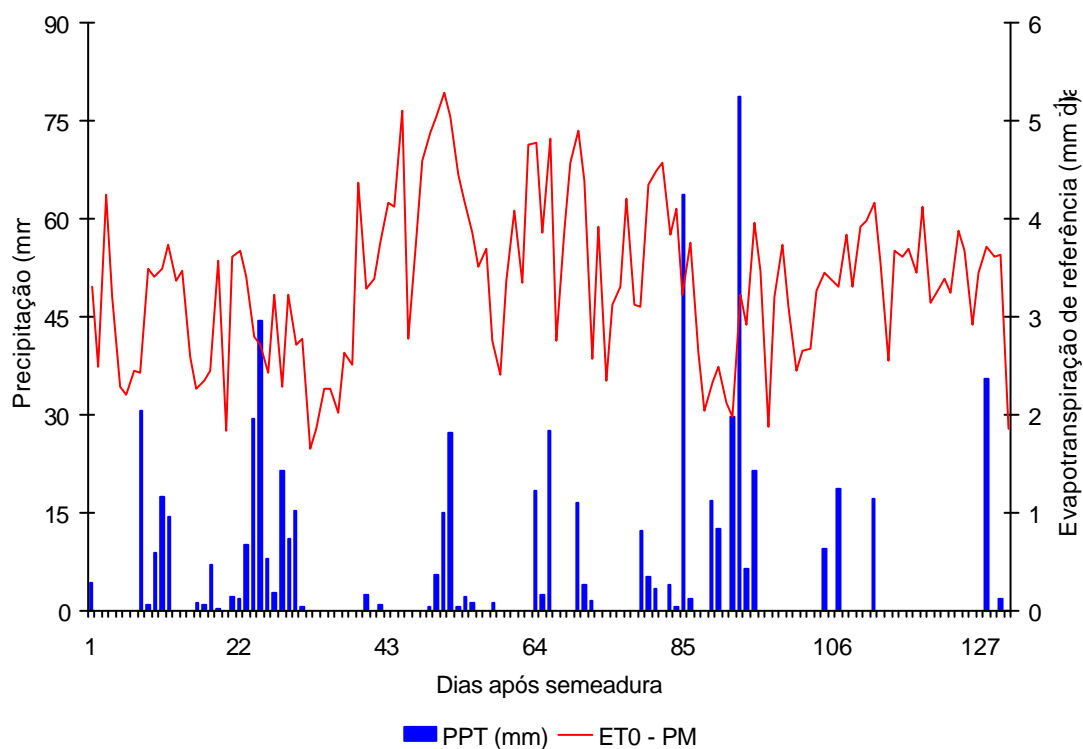


Figura 3.14 – Precipitação (PPT) e evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>) durante o período de 09/12/1998 a 15/04/1999, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

No ensaio de 1998/99, ocorreu um veranico no início do ciclo, o qual foi de 6 dias (0 a 6 DAS) (Figura 3.14). Após esse veranico, as precipitações ocorreram normalmente até 29 DAS, quando, então, ocorreu um veranico de três dias. Após 29 DAS, um período longo de poucas chuvas voltou a ocorrer, dando lugar a dois veranicos de nove dias cada um, intercalado por uma precipitação de dois milímetros, ou seja, de 30 até 49 DAS com uma precipitação aos 39 DAS. Na fase de florescimento, ocorreram três veranicos, sendo um de cinco dias, outro de três dias e o último de seis dias, ou seja de 57 a 62, de 65 a 68, e de 71 a 77 DAS.

O final da fase de enchimento de grãos foi, fortemente, castigado pela escassez de chuvas, quando ocorreram três veranicos, sendo um de nove dias, outro de quatro dias e o último de 15 dias, que ocorreram de 94 a 103 DAS, de 106 a 110 DAS, e de 111 a 126 DAS.

Comparando a ocorrência do período chuvoso durante os dois ensaios, verifica-se que o ensaio de 1997/98 transcorreu com chuvas, atendendo à demanda da cultura até próximo ao fim da fase vegetativa, quando ocorreu um veranico que poderia afetar o número de vagens, ocasionando queda de flores, enquanto o resto do ciclo transcorreu normal. No último experimento, o veranico ocorrido no início do ciclo poderia ter afetado fortemente a cultura, uma vez que ocorreu no momento da germinação e, assim, a densidade de plantas do estande poderia ser afetada. A escassez de chuvas na fase de florescimento poderia afetar a cultura de forma mais intensa, em um clima mais seco. Entretanto, a escassez de chuvas no final do ciclo proporcionou um clima favorável à boa qualidade de sementes. Em geral, na fase de florescimento, ocorreram veranicos capazes de afetar o rendimento final. Excetuando este fato, a cultura esteve bem suprida pela chuva.

Os valores de evapotranspiração de referência ( $ET_0$ ) nos dois anos (Figuras 3.13 e 3.14) seguiram a tendência da radiação global.

A evapotranspiração determinada pelo tanque classe A no ano de 1997/98 (Figura 3.15) foi subestimada, em relação àquela determinada pelo método Penman – Monteith. As diferenças nas três fases foram 1,05, 0,73 e 0,64 mm dia<sup>-1</sup> a favor do método padrão.

Em 1998/99 (Figura 3.16), os valores de evapotranspiração determinados pelo tanque classe A foram superiores aos determinados pelo método Penman – Monteith. O tanque classe A superestimou Penman-Monteith em 0,19, 0,34 e 0,16, nas três fases, ocorrendo o inverso do ano anterior. A explicação para estes resultados pode estar na demanda atmosférica (Figura 3.11).

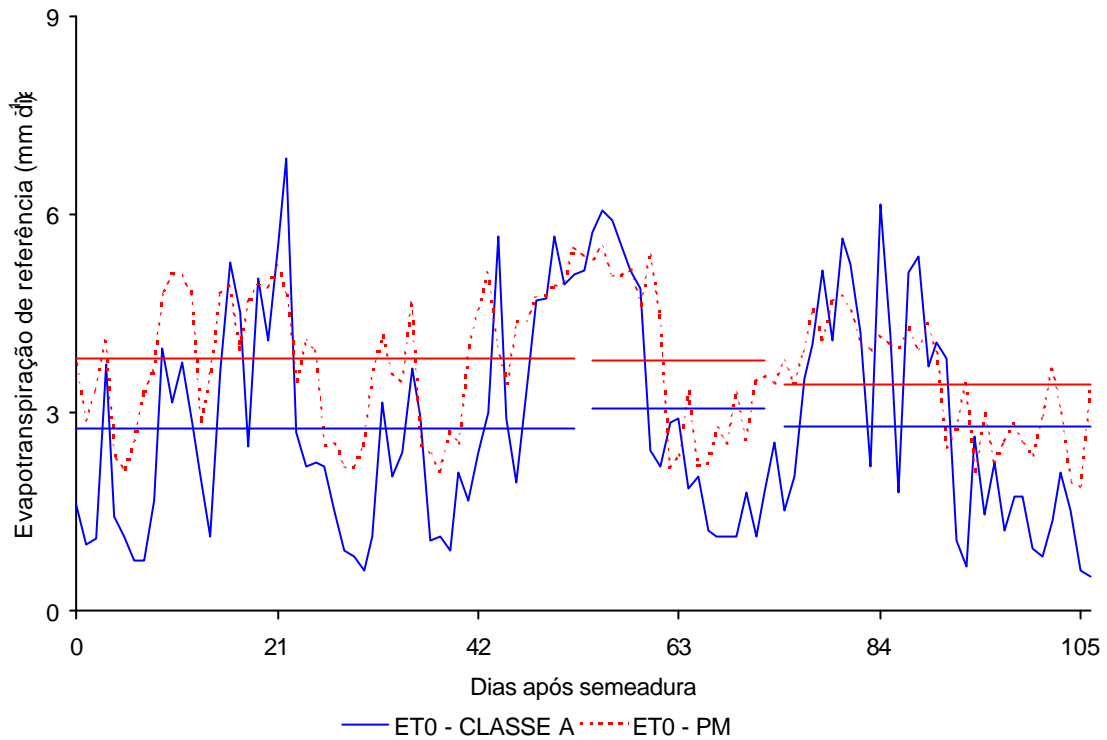


Figura 3.15 – Evapotranspiração de referência estimada pelo tanque classe A ( $ET_0$  - Classe A) e pelo método Penman-Monteith ( $ET_0$  - PM) no período de 12/12/1997 a 28/03/1998, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

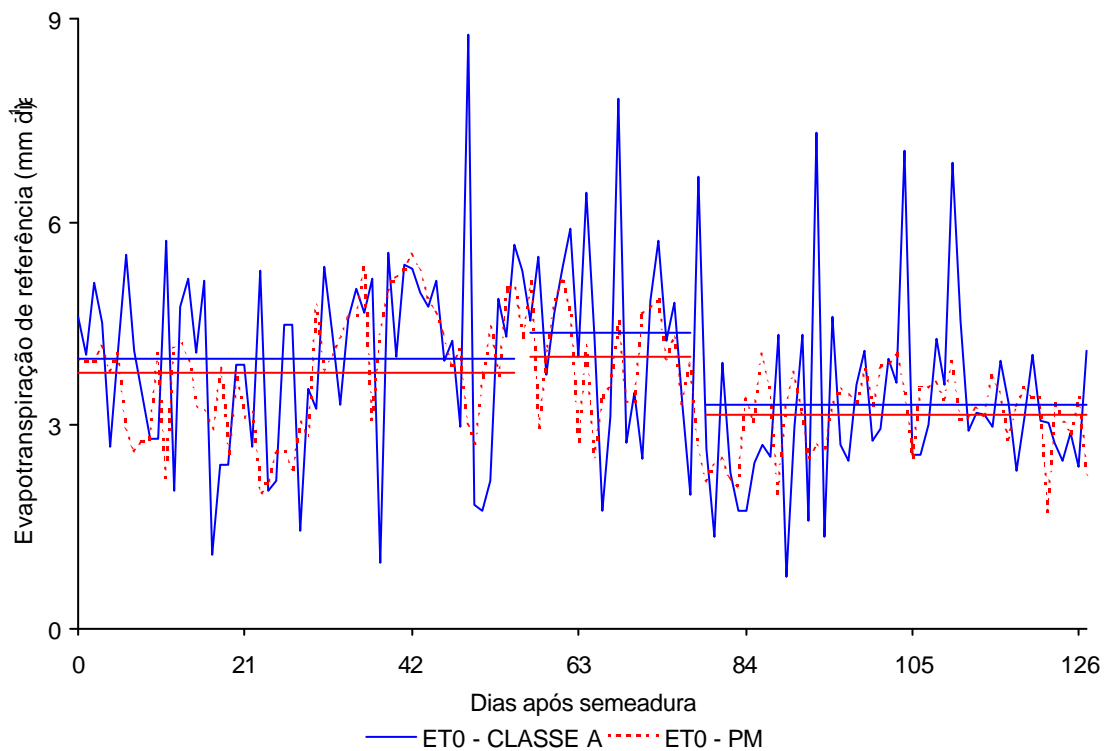


Figura 3.16 – Evapotranspiração de referência estimada pelo tanque classe A ( $ET_0$  - Classe A) e pelo método Penman-Monteith ( $ET_0$  - PM) no período de 09/12/1998 a 15/04/1999, nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

Comparando os dados de  $ET_C$  nos dois ensaios (Figura 3.17), observa-se que, em 1998/99, a cultura atingiu valores médios de evapotranspiração sempre mais elevados do que em 1997/98. No segundo ano de experimento, as médias suplantaram aquelas obtidas no ano anterior em 0,60, 1,38 e 0,19  $mm\ dia^{-1}$  nas fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos, respectivamente.

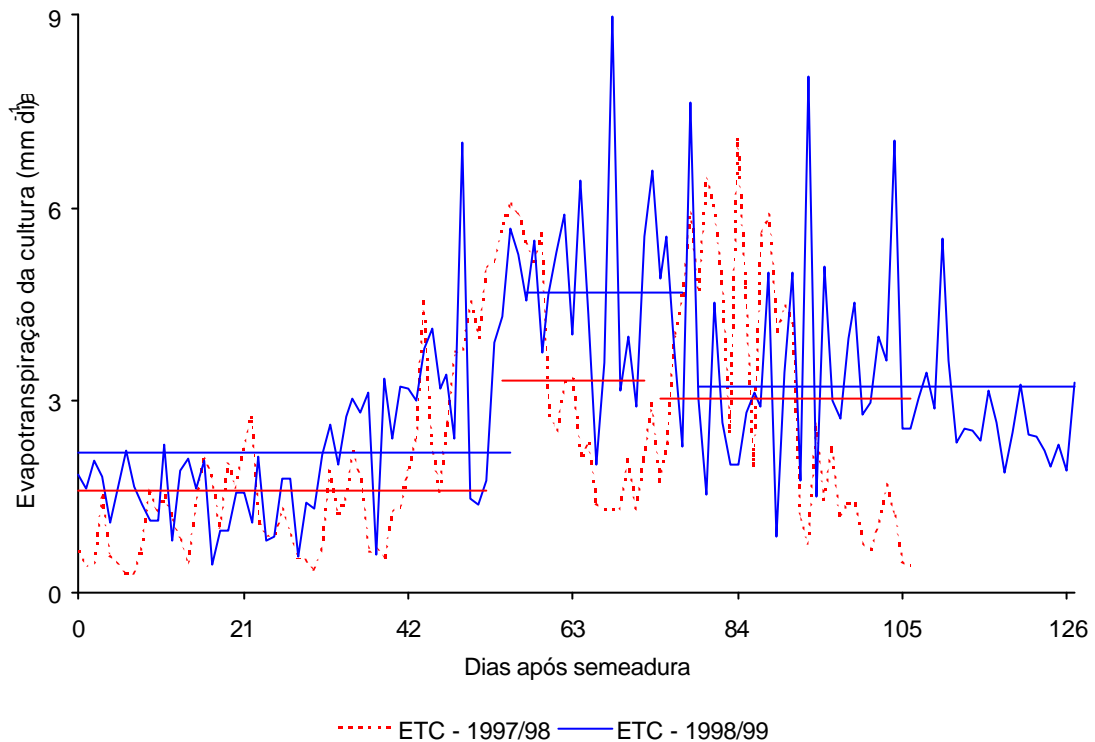


Figura 3.17 – Evapotranspiração da cultura determinada por meio do tanque classe A, para o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 ( $ET_C$  – 1997/98) e para o período de 09/12/1998 a 15/04/1999 ( $ET_C$  – 1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

### 3.2.6 Sombreamento dos tratamentos

As parcelas que foram cobertas com plástico de polietileno, para evitar a ocorrência de chuva nos tratamentos estressados por falta de água, sofreram um sombreamento médio de 23,29 e 24,43% nos tratamentos não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), respectivamente. O tratamento irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV) sofreu forte redução na radiação solar global incidente no topo do dossel, isto é, uma redução média de 60,57 % (Figura 3.18).

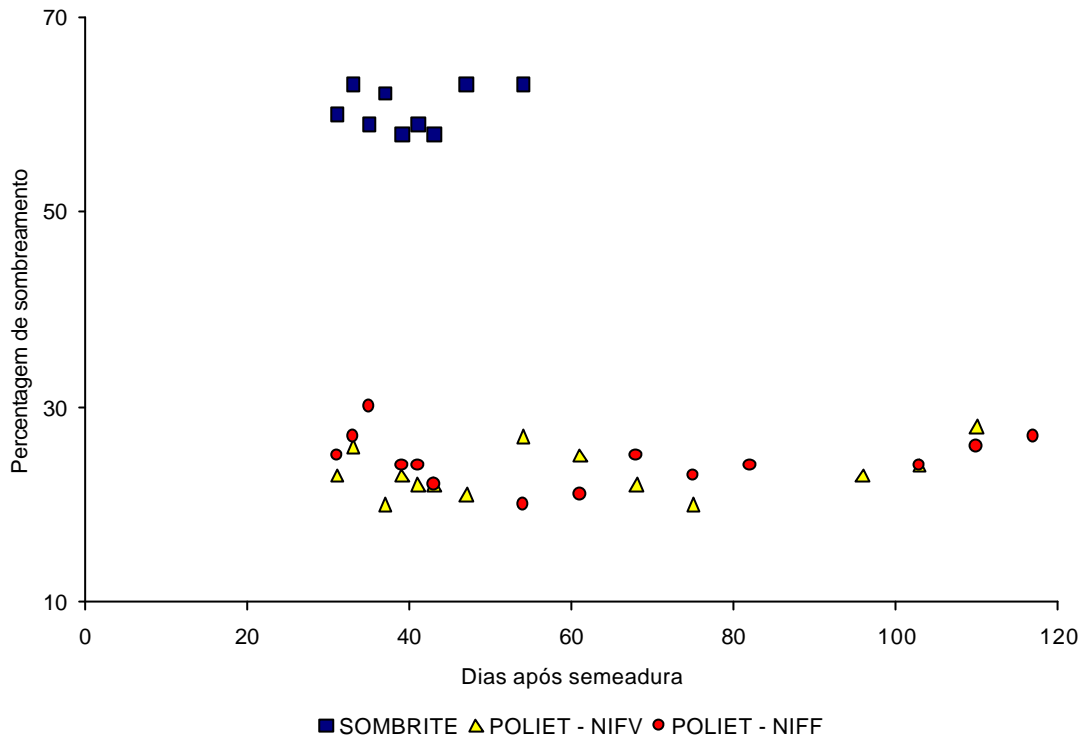


Figura 3.18 – Percentagem de sombreamento produzido pela tela do sombrite (SOMBRITE) e pelo polietileno de 100 micras que cobriu os tratamentos NIFV (POLIET – NIFV) e NIFF (POLIET – NIFF) nos ensaios de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG.

Não se observaram grandes variações, ao longo do período de ensaio, no sombreamento provocado pela cobertura plástica, nem naquele provocado pelo sombrite.

### 3.2.7 Dados climatológicos médios mensais e decendiais

Os dados climatológicos resumidos em médias mensais e decendiais (DEC) (Quadro 3.1), quando se comparam os experimentos, apresentam tendência semelhante àquela discutida anteriormente. A radiação global em 1997/98 só foi maior que aquela ocorrida em 1998/99, nos meses de novembro e dezembro. Para este elemento, o ensaio de 1997/98 apresentou valores mais próximos da DEC. As temperaturas quase sempre foram mais elevadas, em 1997/98. Os valores obtidos em 1998/99 ficaram mais próximos da DEC. A evapotranspiração de referência, quase sempre, foi maior no ensaio de 1997/98, sendo que, nos dois anos, os valores foram muito próximos da DEC. A evaporação do tanque classe A foi maior em 1998/99 em relação à 1997/98 e maior que a média decendial. Em 1997/98, a velocidade do vento foi maior em novembro,

Quadro 3.1 – Médias mensais de radiação solar global (Rg), temperaturas média, máxima e mínima, evapotranspiração de referência (ET<sub>0</sub>-PM), evaporação do tanque Classe (Evap. TCA), velocidade do vento (VV) e total de precipitação mensal (PPT) para os períodos do ensaio de 1997/98 e 1998/99 e a média da década (DEC) 1987-1997

Mês	Rg MJ m <sup>-2</sup> dia <sup>-1</sup>			Temp. Média °C		
	1997/98	1998/99	DEC	1997/98	1998/99	DEC
Nov.	15,925	12,767	15,215	24,300	21,475	22,269
Dez.	16,471	15,738	15,281	24,652	23,566	22,969
Jan.	16,331	18,130	16,591	24,989	24,626	23,594
Fev.	17,468	18,055	17,643	25,238	24,155	23,925
Mar.	15,803	16,372	15,841	24,569	23,197	23,217
Abr.	13,405	14,488	13,386	23,293	22,117	21,930

Mês	Temp. Máxima °C			Temp. Mínima °C		
	1997/98	1998/99	DEC	1997/98	1998/99	DEC
Nov.	29,543	26,000	27,100	19,057	16,950	17,437
Dez.	29,732	28,855	27,670	19,571	18,277	18,269
Jan.	30,003	30,342	28,627	19,974	18,910	18,561
Fev.	30,750	29,936	29,248	19,725	18,375	18,603
Mar.	29,752	28,516	28,530	19,387	17,877	17,905
Abr.	28,860	27,763	27,164	17,727	16,470	16,697

Mês	ET <sub>0</sub> - PM mm dia <sup>-1</sup>			Evap. TCA mm dia <sup>-1</sup>		
	1997/98	1998/99	DEC	1997/98	1998/99	DEC
Nov.	3,602	2,733	3,301	3,070	2,180	3,109
Dez.	3,671	3,402	3,295	2,997	4,500	2,848
Jan.	3,685	3,943	3,597	3,700	5,401	3,046
Fev.	3,932	3,867	3,731	4,316	5,736	3,180
Mar.	3,350	3,268	3,238	3,525	4,483	2,719
Abr.	2,751	2,757	2,609	2,467	3,134	2,439

Mês	VV ms <sup>-1</sup>			PPT mm		
	1997/98	1998/99	DEC	1997/98	1998/99	DEC
Nov.	1,208	1,016	1,289	180,300	216,900	194,500
Dez.	1,221	1,412	1,349	206,879	113,488	242,090
Jan.	1,120	1,184	1,354	139,822	185,457	215,770
Fev.	1,389	1,345	1,327	174,166	93,575	108,160
Mar.	0,947	1,087	1,085	102,013	280,418	131,780
Abr.	1,007	0,744	0,975	25,400	36,500	70,440

fevereiro e abril, sendo mais importante em fevereiro, enquanto 1998/99 esteve mais próximo da média decendial. A precipitação média nos meses esteve, quase sempre, abaixo da média decendial nos dois anos de experimento, sendo que os períodos de 1997/98 e 1998/99, cada um, ficaram somente um mês acima da média decendial, fevereiro em 1997/98 e março em 1998/99. Quanto à precipitação, pode-se dizer que não houve grandes diferenças, entre os dois anos.

### **3.3 Condições químicas e físicas do solo**

As análises química e física do solo em ambos os anos de experimento, mostraram fertilidade média e textura argilosa (Quadro 3.2). A fertilidade foi uniformizada, conforme explicado no item 2.5.1. A quantidade de fertilizantes aplicada foi repetida no experimento do ano de 1998/99, em razão das exigências da cultura (SEDIYAMA et al., 1995) e do tipo de solo (Amarelo-Vermelho Câmbico). Não foi realizada calagem do solo, em virtude da ausência de  $Al^{3+}$  e da soma de  $Ca^{2+}$  e  $Mg^{2+}$  ser maior que dois  $cmol_c\ dm^{-3}$ .

Após o experimento, a análise de química e física do solo mostrou que suas condições de fertilidade, nos dois ensaios, estiveram dentro da faixa de exigência da variedade estudada (Quadro 3.2).

### **3.4 Condições de umidade no solo**

A umidade do solo, no ensaio de 1997/98 não foi medida, conforme item 2.6.

O teor de água no solo, na fase vegetativa, no experimento de 1998/99 (Figura 3.19), variou de forma semelhante nos tratamentos sem restrição de irrigação, enquanto o tratamento NIFV atingiu teores de água abaixo do ponto-de-murcha permanente (PMP) na camada de 20 cm, no final da fase. Com o passar do tempo, no NIFV, a água no perfil diminuiu de forma perceptível até à camada de 60 cm, sendo que na de 60 a 80 cm não houve variação significativa. Pode-se inferir que este retirou água até a profundidade de 60 cm.

Os tratamentos irrigados, nesta fase, apresentaram a camada de 20 cm com uma umidade em torno de 50% da água disponível, enquanto nas demais camadas, o tratamento IPTP esteve quase sempre abaixo da capacidade de campo (CC), embora próximo a esta, demonstrando estar em uma área com boa infiltração (condutividade hidráulica) em todo o perfil. À medida que se aprofundou no solo, o ISFV e o NIFF,

Quadro 3.2 - Análises química e física de amostras de solo retiradas do local dos ensaios<sup>1/</sup>

Característica	Resultados*	Interpretação <sup>2/</sup>	Resultados**	Interpretação <sup>2/</sup>	Resultados***	Interpretação <sup>2/</sup>
<b>Análise Química</b>						
pH em água 1:25	5,6	Acidez Média	5,7	Acidez Média	5,8	Acidez Média
P (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	3,0	Muito Baixo	4,8	Baixo	9,8	Médio
K <sup>+</sup> (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	120,0	Bom	69,8	Médio	132,0	Muito Bom
Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	0,0	Muito Baixo	0,10	Muito Baixo	0,10	Muito Baixo
Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	2,9	Bom	2,3	Médio	3,6	Bom
Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	0,8	Médio	0,6	Médio	0,8	Médio
H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	3,3	Médio	2,8	Médio	3,9	Médio
SB (Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + K <sup>+</sup> + Na <sup>+</sup> ) (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	3,39	Médio	3,0	Médio	4,7	Bom
CTC Efetiva (t = SB + Al <sup>3+</sup> ) (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	3,39	Médio	3,1	Médio	4,8	Bom
CTC pH 7 (T = SB + (H + Al)) (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> ) <sup>4/</sup>	6,69	Médio	5,8	Médio	8,6	Médio
V (%) (V = 100*((Ca <sup>2+</sup> + Mg <sup>2+</sup> + (K <sup>+</sup> /390))/T))	59,91	Médio	53,1	Médio	55,1	Médio
m (%) (m = 100*Al <sup>3+</sup> /t)	0,0	Muito Baixo	3,2	Muito Baixo	2,1	Muito Baixo
Zn (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	-	-	-	-	5,3	Alto
Fe (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	-	-	-	-	110,3	Alto
Mn (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	-	-	-	-	54,6	Alto
Cu (mg/dm <sup>3</sup> ) <sup>3/</sup>	-	-	-	-	4,2	Alto
Matéria orgânica (dag/Kg) <sup>5/</sup>	-	-	-	-	3,3	Médio
<b>Análise Textural<sup>6/</sup></b>						
Areia grossa (%)	14,00		12,60		14,4	
Areia fina (%)	5,50		05,20		05,6	
Silte (%)	25,75		24,80		22,4	
Argila (%)	54,75		57,40		57,6	
Classificação textural <sup>7/</sup>		Argiloso		Argiloso		Argiloso

<sup>1/</sup> Análises realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e Laboratório de Física do Solo da UFV; <sup>2/</sup> Segundo as "Recomendações para o uso de corretivos e fertilizantes em Minas Gerais", 5<sup>a</sup> Aproximação; <sup>3/</sup> Extrator de Mehlich-1 (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981); <sup>4/</sup> Extrator KCl 1 mol/L (DEFELIPO e RIBEIRO, 1981); <sup>5/</sup> Carbono determinado pelo processo de Walkley-Black (JACKSON, 1958); <sup>6/</sup> Laboratório de Física do Solo da UFV; <sup>7/</sup> Segundo a Sociedade Brasileira de Ciência do Solo.

\* Análises química e textural feitas em 11/04/1997; \*\* Análises química e textural feitas em 07/11/1998; \*\*\* Análises química e textural feitas em 19/04/1999.

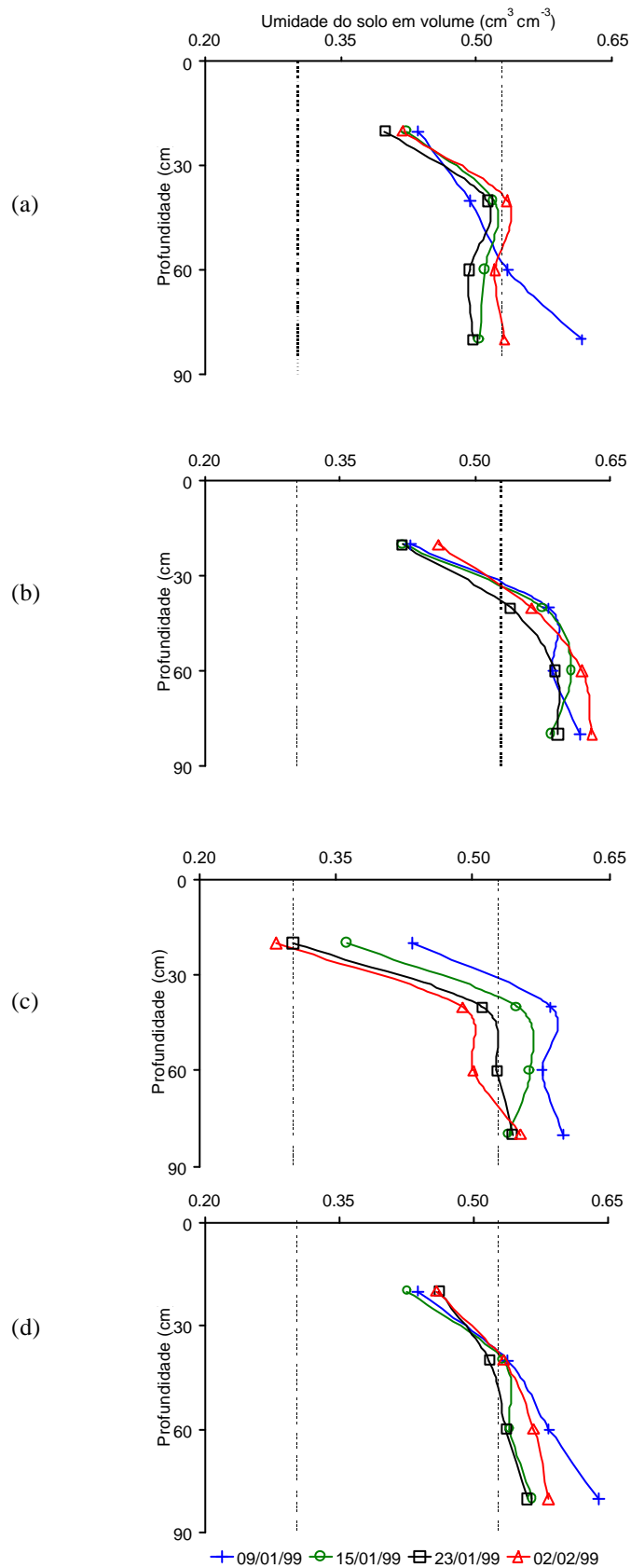


Figura 3.19 – Umidade do solo nos tratamentos IPTP (a), ISFV (b), NIFV (c) e NIFF (d) às profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, na fase vegetativa da cultura, no ensaio em Viçosa-MG.

tenderam a possuir maior umidade, indo além da CC, ou seja, tendendo à saturação. Percebe-se que ISFV possuiu um perfil mais saturado.

Na Figura 3.20, ressalta-se a seqüência de datas, ou seja, a última data da fase anterior (Figura 3.19), nesta figura (Figura 3.20) é a primeira data. Assim, a simbologia que representou a data 09/01/99 representa, nesta figura, a data 02/02/99, enquanto aquela que representou 02/02/99 na Figura 3.19, representa 24/02/99 na Figura 3.20. O mesmo é válido para a figura seguinte, 3.21. Isto foi realizado para facilitar a visualização da recuperação do teor de água no solo pela re-irrigação.

Na fase de florescimento, o teor de água diminuiu de forma visível em todos os tratamentos (Figura 3.20), embora esta ocorrência não era de se esperar. Isto pode ter sido devido a algum problema no cálculo da quantidade de água aplicada como, por exemplo, leituras erradas no micrômetro do tanque classe A. Entretanto, percebe-se que todos estiveram com umidade no solo dentro das condições adequadas para a cultura, exceto o tratamento estressado (NIFF), o qual atingiu valores abaixo do PMP, na camada de 20 cm, já na primeira data, após a suspensão da irrigação. Percebe-se, ainda, que o tratamento estressado teve a água, em todo o perfil, diminuída de forma quase constante à medida que o tempo passava. A quantidade média de água retirada do perfil de 0 (zero) a 80 cm, nesse período, foi muito maior que aquela evapotranspirada pela cultura, conforme os cálculos utilizando o tanque classe A. O valor medido, média entre as duas repetições do tratamento, foi 153,24 mm contra 106,30 mm da ETc, calculada utilizando-se o tanque classe A. Isto leva a sugerir que experimentos correlacionando o índice de área foliar à retirada de água do solo poderiam fornecer resultados úteis à discussão da evapotranspiração.

O tratamento NIFV recuperou-se totalmente, da falta de água da fase anterior e permaneceu com valores próximos da CC, a partir da camada de 40 cm. O tratamento IPTP manteve a mesma tendência da fase anterior, embora a umidade no perfil tenha diminuído um pouco. O tratamento ISFV teve a umidade diminuída, mas, mesmo assim, apresentou alto teor de água a partir da camada de 60 cm.

Na fase de enchimento de grãos, os dados demonstraram que a irrigação foi bem realizada (Figura 3.21), com um erro experimental menor. NIFF recuperou toda a umidade do solo e as mesmas tendências, observadas anteriormente, foram observadas também nesta fase, embora todos, exceto IPTP, tenham estado acima da CC a partir de 40 cm. Em geral, IPTP sempre esteve em ótimo ambiente no solo, enquanto ISFV teve umidade em excesso a partir de 40 cm. Os tratamentos NIFV e NIFF, quando não

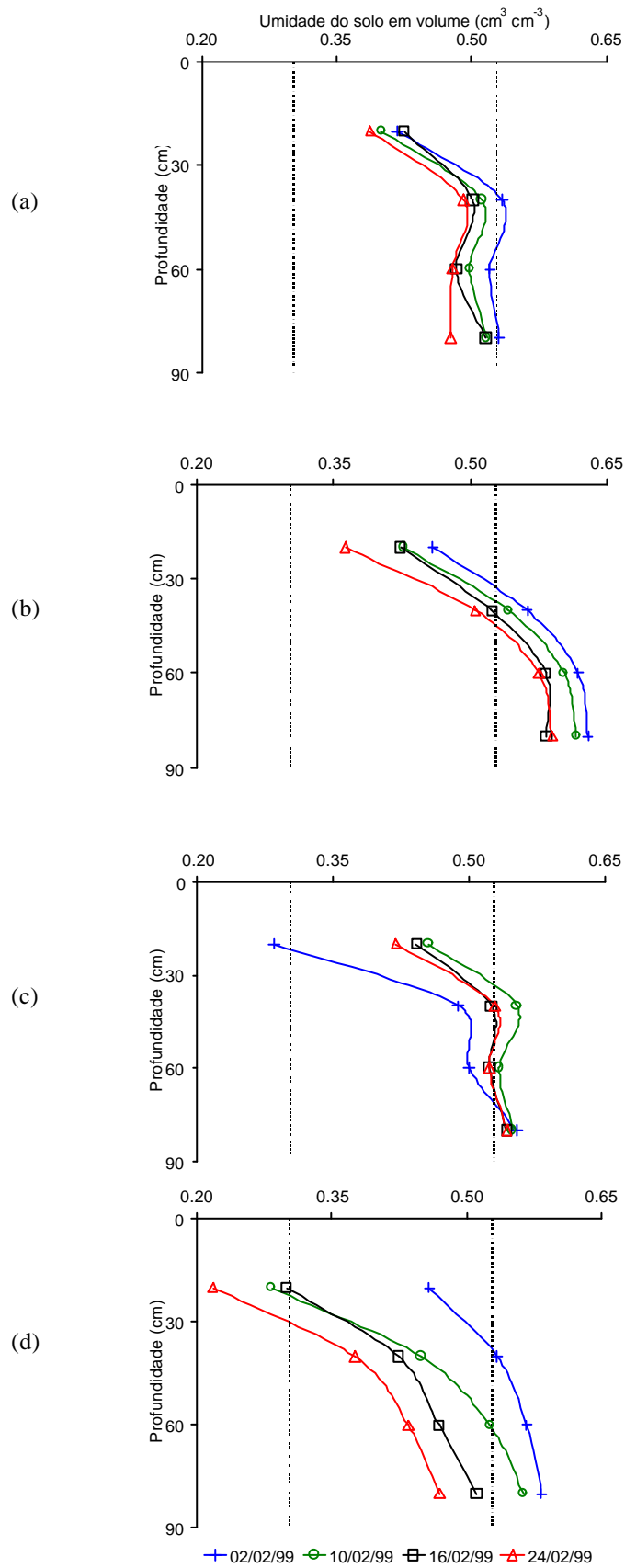


Figura 3.20 – Umidade do solo nos tratamentos IPTP (a), ISFV (b), NIFV (c) e NIFF (d) às profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, na fase de florescimento da cultura, no ensaio em Viçosa-MG.

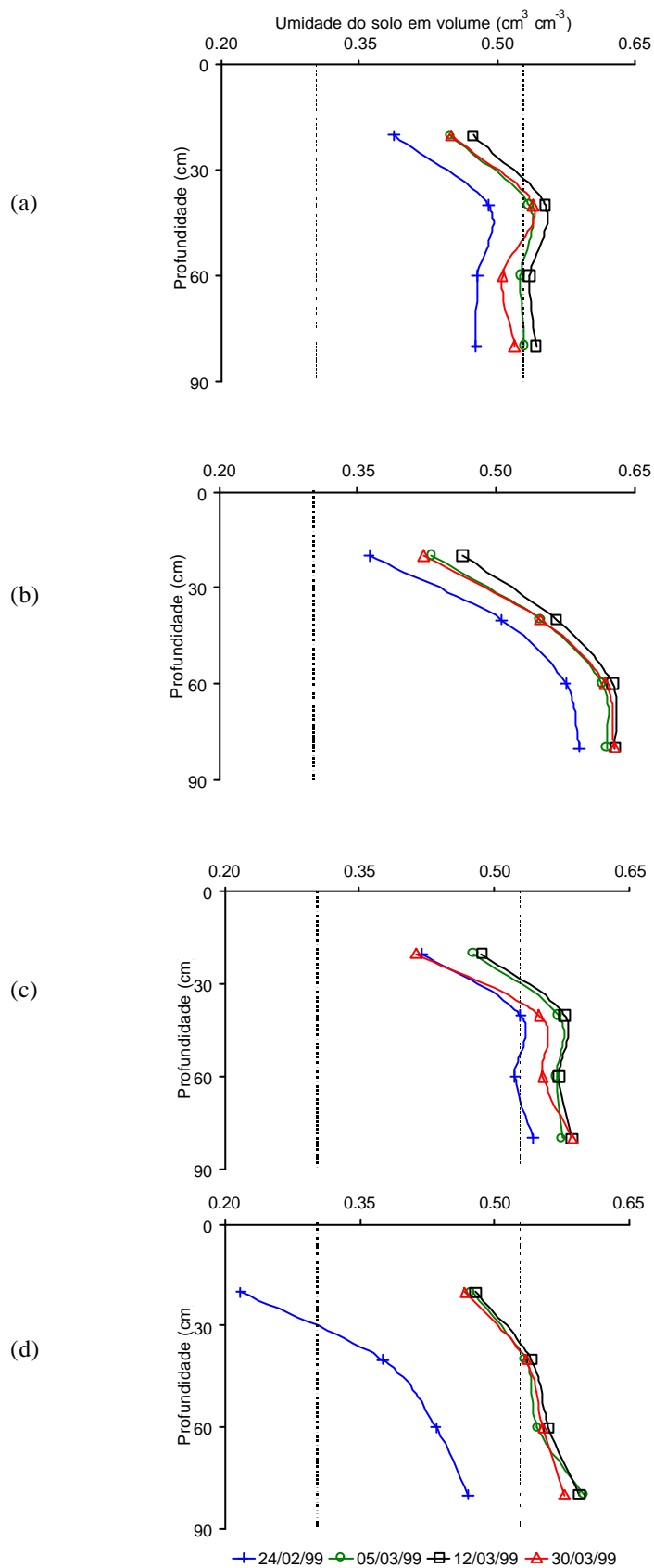


Figura 3.21 – Umidade do solo nos tratamentos IPTP (a), ISFV (b), NIFV (c) e NIFF (d) às profundidades de 20, 40, 60 e 80 cm, na fase de enchimento de grãos da cultura, no ensaio em Viçosa-MG.

estressados, estiveram em ambiente adequado de oxigênio e umidade no solo. Maiores detalhes sobre a água no solo, são apresentados no Apêndice (Figuras 1A a 9A).

### **3.5 Resumo e conclusões**

As condições climáticas foram mais favoráveis ao estresse no experimento de 1997/98, quando houve maior temperatura média ao longo de todo o ciclo da cultura (Figura 3.8), decorrente da maior disponibilidade de energia (Figura 3.5) e maior presença de água na atmosfera.

O experimento de 1998/99, conforme discutido nas seções anteriores, decorreu em ambiente mais ameno (Figuras 3.8 e 3.5), o que resultou em um período de permanência no campo mais prolongado.

A comparação das condições climáticas confirma a discussão acima (Quadro 3.1).

Em termos de radiação, o microclima foi grandemente influenciado pelo sombreamento, enquanto os tratamentos de estresse de água foram, semelhantemente, influenciados pela cobertura plástica. (Figura 3.18).

A fertilidade do solo foi adequada, durante todo o tempo (Quadro 3.1), o que garantiu uma situação satisfatória para avaliação dos tratamentos.

No ensaio de 1998/99, a água no solo comportou-se de acordo com os tratamentos aplicados, demonstrando tanto a eficiência da irrigação como dos tratamentos aplicados (Figuras 3.19, 3.20 e 3.21).

Conclui-se que o ano de 1998/99 foi mais propício à cultura de soja do que o ano de 1997/98, pois, apresentou temperaturas médias mais próximas àquela estudada por PASCALE (1969), isto é, 24 °C, enquanto 1997/98 apresentou temperaturas médias mais elevadas. A ocorrência de temperaturas médias mais elevadas, em 1997/98, possivelmente seja a causa do encurtamento do ciclo neste ensaio, baseando-se no conceito de graus-dia.

Quanto aos demais elementos climáticos, estiveram sempre de acordo com as exigências da cultura.

## **4. DESENVOLVIMENTO E CRESCIMENTO DA CULTURA DE SOJA**

### **4.1 Introdução**

Neste capítulo, os efeitos dos tratamentos sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura de soja são apresentados e discutidos. Esses efeitos sobre o crescimento e desenvolvimento da cultura foram analisados, observando-se a variação na habilidade da cultura em capturar e utilizar recursos. Esta habilidade foi representada por: matéria seca acumulada; variações morfológicas, como a expansão foliar e o número de estruturas reprodutivas (flores e vagens); partição de fotoassimilados e taxas de crescimento. Desta forma, o objetivo deste capítulo é apresentar a resposta do crescimento da cultura de soja às variações microclimáticas, geradas pelos tratamentos impostos, em condições de campo.

### **4.2 Desenvolvimento**

O desenvolvimento da cultura foi comparado, visando observar a influência do clima sobre o ciclo e duração das fases fenológicas. O desenvolvimento da cultura foi acompanhado por observações, segundo FEHR e CAVINESS (1977).

#### **4.2.1 Experimento conduzido em 1997/98**

O plantio foi realizado no dia 12/12/1997 e a emergência das plântulas foi verificada no dia 17/12/1997, ou seja, cinco dias após a semeadura (DAS) (Quadro 4.1).

Quadro 4.1 – Duração das fases e do ciclo da cultura de soja em dias e graus-dia (entre parênteses), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Fases	Ensaio	IPTP	ISFV	NIFV	NIFF
Emergência	1997/98	5 (75,8)	5 (75,8)	5 (75,8)	5 (75,8)
	1998/99	11 (159,3)	11 (159,3)	11 (159,3)	11 (159,3)
	Dif. - %	55 (52)	55 (52)	55 (52)	55 (52)
Vegetativa	1997/98	48 (737,6)	51 (788,3)	48 (737,6)	47 (720,5)
	1998/99	45 (653,7)	45 (653,7)	43 (625,5)	44 (639,3)
	Dif. - %	6 (11)	12 (17)	10 (15)	6 (11)
Florescimento	1997/98	21 (316,7)	20 (294,4)	20 (301,2)	23 (348,1)
	1998/99	23 (326,3)	23 (326,3)	21 (301,7)	22 (315,3)
	Dif. - %	9 (3)	13 (10)	5 (0)	4 (9)
Enchimento de grãos	1997/98	32 (467,1)	25 (373,2)	31 (458,7)	28 (418,4)
	1998/99	47 (620,0)	46 (607,3)	49 (649,5)	44 (587,4)
	Dif. - %	32 (25)	46 (39)	37 (29)	36 (29)
Ciclo	1997/98	101 (1521,4)	96 (1455,9)	99 (1497,5)	98 (1487,0)
	1998/99	115 (1600,0)	114 (1587,3)	113 (1576,7)	110 (1542,0)
	Dif. - %	12 (5)	16 (8)	12 (5)	11 (4)

O período vegetativo apresentou, pequena variação quanto à duração. O tratamento NIFF atingiu a fase de florescimento aos 52 DAS; os tratamentos IPTP e NIFV atingiram a fase de florescimento aos 53 DAS e o tratamento ISFV aos 56 DAS. Portanto, a duração da fase vegetativa, para os tratamentos NIFF, IPTP, NIFV e ISFV, foi 47, 48, 48 e 51 dias, respectivamente.

A fase de florescimento também variou pouco, apresentando duração mais curta, ou seja, 20 dias, nos tratamentos ISFV e NIFV. NIFF apresentou maior duração, isto é, 23 dias, enquanto, para IPTP, foi 21 dias.

Da fase de florescimento até atingir R8, também houve variação. ISFV apresentou menor duração, com 25 dias, seguido do NIFF com 28 dias. A fase de enchimento de grãos, no NIFV, foi de 31 dias, seguido do IPTP com 32 dias.

A duração do ciclo total também variou, sendo 101, 103, 104 e 106 DAS para os tratamentos ISFV, NIFF, NIFV e IPTP, respectivamente.

Os resultados quanto ao tempo para germinar, duração da fase vegetativa e de florescimento estão de acordo com aqueles obtidos por PEREIRA (1988), enquanto para a fase de enchimento de grãos os valores são menores.

#### **4.2.2 Experimento conduzido em 1998/99**

O plantio foi realizado no dia 09/12/1998 e a emergência das plântulas foi verificada no dia 20/12/1998, ou seja, 11 dias após a semeadura (DAS) (Quadro 4.1).

O período vegetativo apresentou pequena variação quanto à duração. O tratamento NIFV atingiu a fase de florescimento aos 54 DAS, ao passo que o tratamento NIFF atingiu esta fase aos 55 DAS e os tratamentos IPTP e ISFV aos 56 DAS. Conclui-se que a duração da fase vegetativa, para os tratamentos NIFV, NIFF, IPTP e ISFV, foi de 43, 44, 45 e 45 dias, respectivamente.

A fase de florescimento também variou pouco, apresentando menor duração no tratamento NIFV, ou seja, 21 dias. No NIFF, esta fase foi ligeiramente superior, isto é, 22 dias, e nos tratamentos IPTP e ISFV foi de 23 dias.

Da fase de florescimento até atingir R8, também, houve variação. NIFF apresentou menor duração, isto é, 44 dias. Em ISFV e IPTP, a fase de enchimento de grãos teve uma duração média de 46 e 47 dias, ao passo que a maior duração ocorreu no tratamento NIFV, isto é, 49 dias.

A duração do ciclo total também variou, sendo 121, 124, 125 e 126 DAS para os tratamentos NIFF, NIFV, ISFV e IPTP, respectivamente.

Neste ensaio, a duração das fases fenológicas concordou com aquela encontrada em estudos realizados em 1995/96 (PEREIRA, 1998), embora o ciclo total, considerado desde o plantio, foi, em média, nove dias mais longo que aquele em 1995/96.

#### **4.2.3 Diferenças entre os experimentos realizados em 1997/98 e 1998/99**

Quanto à duração do período de emergência, o experimento de 1998/99 levou mais tempo para germinar, em virtude do período de seca que ocorreu logo após a semeadura (Figura 3.14). Tal fato pode ter influenciado a determinação da duração da fase vegetativa.

Nas fases vegetativa e florescimento, as diferenças foram pequenas entre um ano e outro. Na fase de enchimento de grãos, a diferença foi maior entre os ensaios, sendo esta a principal responsável pelo encurtamento do ciclo, ocorrido no experimento de 1997/98.

Embora a diferença de temperatura média tenha sido mais acentuada na fase de enchimento de grãos (Figura 3.8), verificou-se que esta fase, foi a mais sensível à elevação da temperatura média e que, em resposta, a duração desta fase reduziu consideravelmente (Quadro 4.1).

As diferenças nas percentagens entre os anos, levando em consideração somente o período após a germinação, foram de 4 - 46 %, usando DAE, e 0 - 39 % usando graus-dia. Para o período de germinação, graus-dia mostrou-se melhor, com um erro 3% menor que DAS, embora a germinação seja também, grandemente, influenciada também pela umidade e temperatura do solo (ARANTES e SOUZA, 1992; AQUINO & BEKENDAM, 1969). Assim, no presente estudo, graus-dia (unidade térmica) forneceu uma estimativa melhor das durações de cada fase e do ciclo da cultura de soja.

A determinação da temperatura-base não foi obtida, devido à falta de dados, ou seja, observações cobrindo uma faixa de combinações de diferentes fotoperíodos e temperaturas (WATKINSON et al., 1994).

## **4.3 Crescimento**

### **4.3.1 Crescimento da cultura**

#### **4.3.1.1 Produção de matéria seca total**

O modelo logístico (Equação 4.1) foi ajustado aos dados de matéria seca (MS) por ser o que melhor representou o comportamento da cultura, com  $r$  superior a 0,99, em todos os tratamentos de 1997/98, variando de 0,93 a 0,98 em 1998/99 (Quadro 4.2 e 4.3). O melhor ajuste em 1997/98 pode ter sido devido ao número de amostragens, que foi menor que em 1998/99. O erro padrão de estimativa foi maior em 1998/99 e menor em 1997/98, sendo que a maior interferência no valor deste parâmetro foi a variação no final do ciclo, em que os valores de matéria seca eram mais elevados.

Os parâmetros  $A$ ,  $b$  e  $k$  do modelo logístico representam o valor máximo de matéria seca, o parâmetro da equação e taxa constante, respectivamente.

Os valores de matéria seca máxima, estimada pelo modelo logístico ajustado aos dados de MS medidos no campo, foram maiores no ensaio de 1997/98, para os tratamentos ISFV e NIFF e menores para IPTP e NIFV, em relação àqueles do ensaio de 1998/99 (Quadro 4.2 e 4.3). A razão para estes resultados pode ter sido o número de coletas realizadas em 1997/98, uma vez que os dados reais apontam uma produção mais elevada em 1998/99. Associado a este fator, o modelo logístico demanda um número

Quadro 4.2 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca total dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	1400,3478	156,7150	0,0737	0,999
	ISFV	889,1974	161,9773	0,0674	0,999
	NIFV	929,9545	320,6730	0,0949	0,996
	NIFF	1140,8651	122,3331	0,0722	0,995

Quadro 4.3 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca total dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1998/99	IPTP	1523,9303	411,4122	0,0911	0,987
	ISFV	457,3601	860,5226	0,1199	0,965
	NIFV	939,3221	277,3201	0,0899	0,991
	NIFF	869,3322	2324,1808	0,1300	0,974

maior de amostragens durante a fase reprodutiva, para melhor se ajustar aos valores máximos e, assim, estimar mais precisamente os valores máximos de matéria seca produzida.

Nos dois anos, o IPTP apresentou a maior produção de matéria seca, o ISFV produziu menos, enquanto, NIFV e NIFF apresentaram resultados bem próximos um do outro, nos dois ensaios realizados (Figura 4.1 e 4.2).

O ponto da curva que indica a estabilização da matéria seca (parte superior do “S”) ficou mais explícito somente no tratamento NIFV, no ensaio de 1997/98 (Figura 4.1), enquanto, em 1998/99, isto se verifica bem em todos os tratamentos (Figura 4.2), possivelmente devido ao intervalo de amostragem, que foi menor, tornando a fase reprodutiva melhor representada.

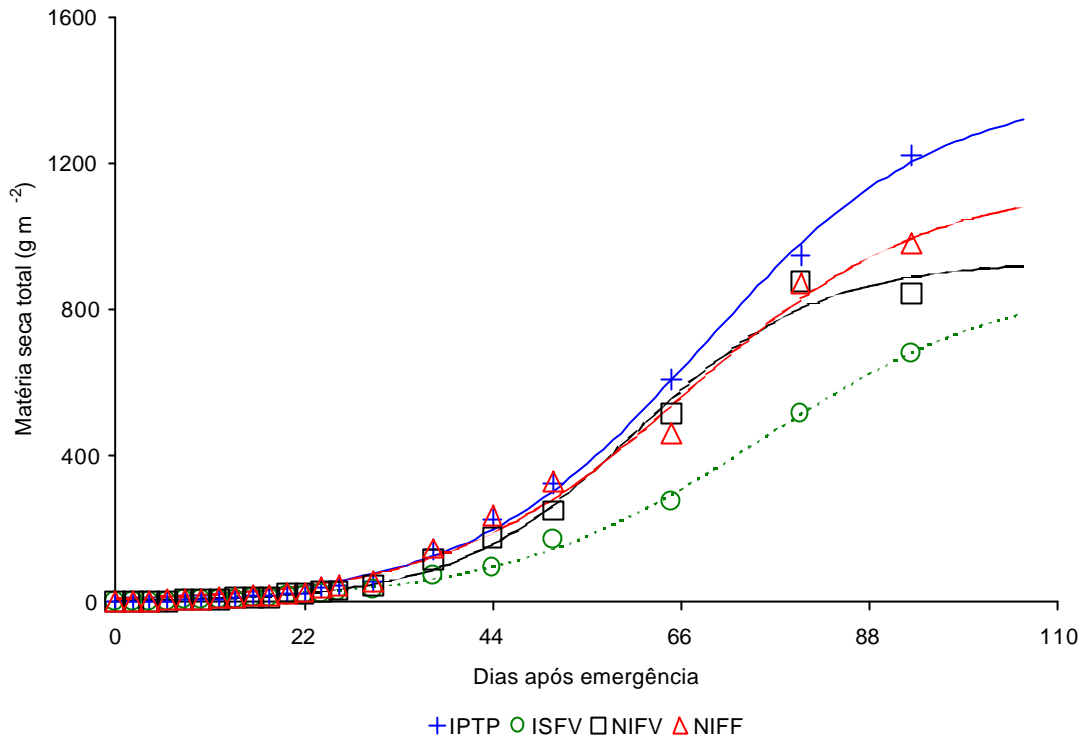


Figura 4.1 – Acúmulo de matéria seca total ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

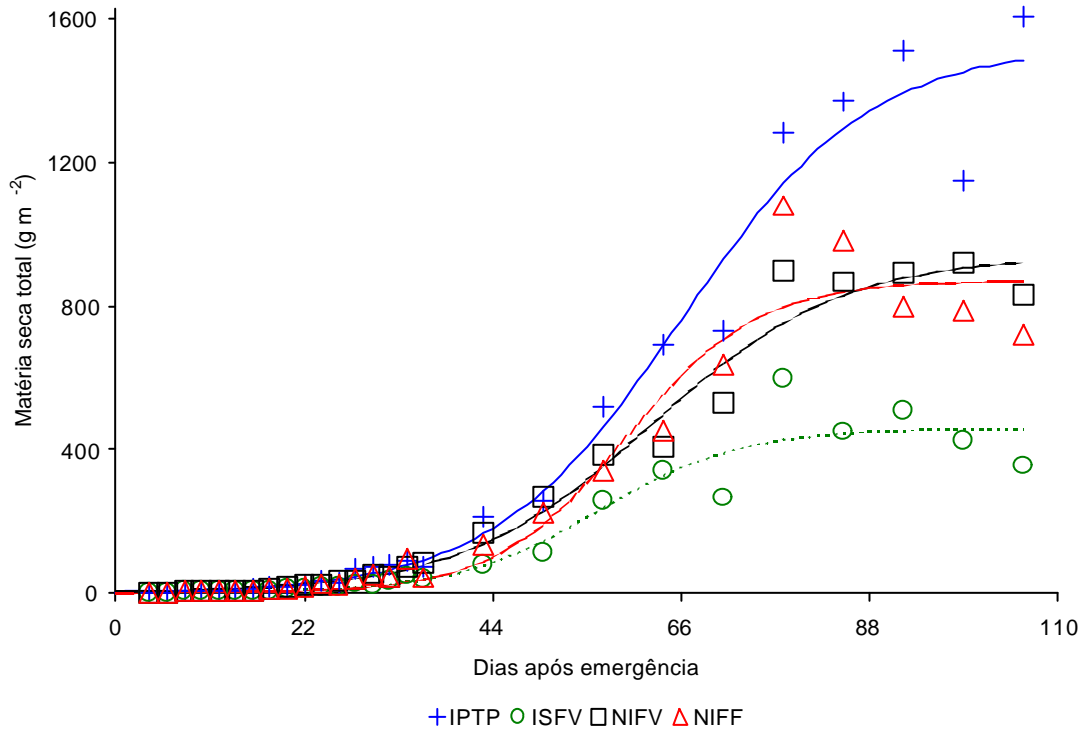


Figura 4.2 – Acúmulo de matéria seca total ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

$$W(t) = \frac{A}{1 + b \cdot e^{-k \cdot t}} \quad (4.1)$$

em que

- $W(t)$  = matéria seca total ( $\text{g m}^{-2}$ );
- $t$  = tempo ou dias após a emergência (d);
- $A$  = massa seca final estimada pelo modelo ( $\text{g m}^{-2}$ );
- $k$  = taxa constante ( $\text{d}^{-1}$ );
- $b$  = parâmetro da equação; e
- $e$  = base do logaritmo natural.

A ordem de estabilização da máxima produção de matéria seca estimada em 1997/98 foi NIFV, NIFF, IPTP e ISFV, sendo que o início dessa estabilização ocorreu, aproximadamente, aos 80 DAE. Em 1998/99, a ordem foi NIFF, ISFV, NIFV e IPTP, com o início da estabilização ocorrendo por volta de 80 DAE. O fato da estabilização da curva ter ocorrido mais cedo, em 1998/99, pode ter sido devido ao número maior de amostragens (maior em 1998/99), que foi mais adequado ao ajuste do modelo logístico.

#### 4.3.1.2 Taxa de produção de matéria seca total

A taxa de crescimento, ou taxa de mudança da massa seca total da planta ( $dW/dt$ ) é obtida de uma série de colheitas destrutivas. Um dos índices de crescimento de plantas é a taxa de crescimento absoluto ( $G$ ) (RICHARDS, 1969). Este é um índice mais simples e representa a mudança no tamanho, ou seja, um aumento no tamanho, por unidade de tempo, sendo comumente aplicado à massa seca total, ou área foliar total, por planta. As unidades mais comuns de sua expressão são  $\text{g dia}^{-1}$  (HUNT, 1990).

As taxas de produção de matéria seca total ( $Ct$ ) (Figura 4.3 e 4.4), que são semelhantes às taxas de crescimento absoluto da cultura ( $G$ ), foram obtidas por meio da equação 4.2, a qual é uma derivada da equação 4.1.

No ensaio de 1997/98, no início do ciclo até aproximadamente 22 DAE, as taxas de produção de matéria seca foram baixas, sendo que os tratamentos ISFV e NIFV apresentaram os menores valores e IPTP e NIFF os valores mais elevados, não diferindo entre si. A partir desse período, o tratamento ISFV apresentou uma taxa menor que os demais, que ficaram bem próximos quanto à taxa de produção de matéria seca até, aproximadamente, 44 DAE. A partir daí, o tratamento NIFF começou a apresentar uma

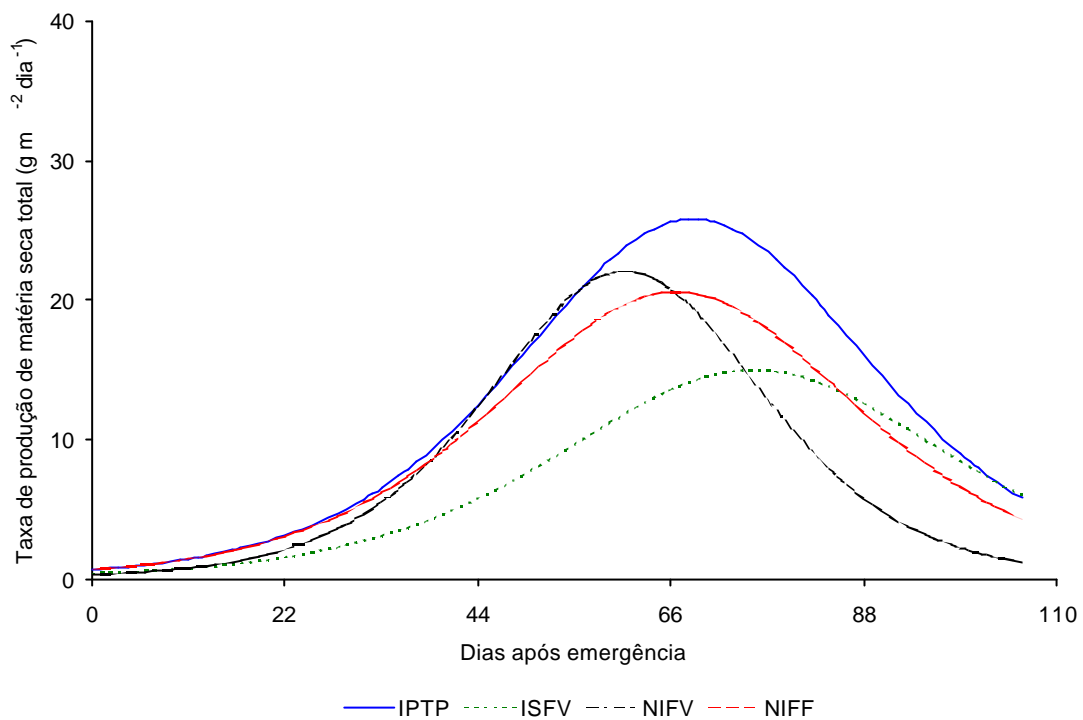


Figura 4.3 – Taxa de produção de matéria seca total ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

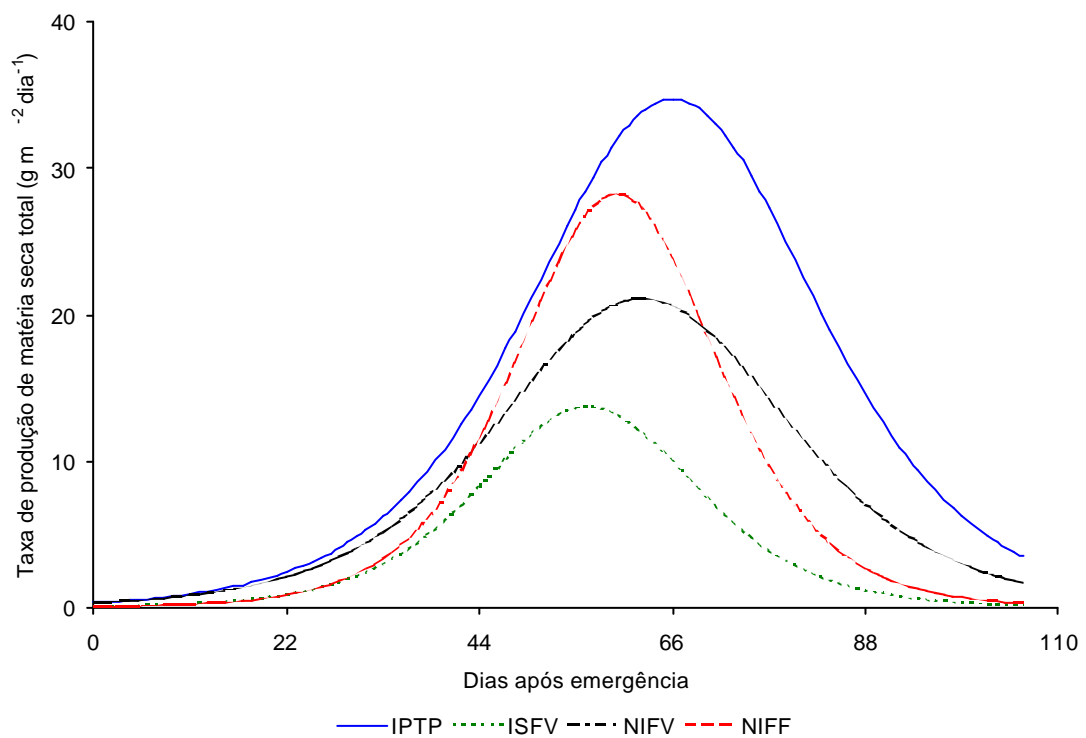


Figura 4.4 – Taxa de produção de matéria seca total ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

taxa menor de produção de MS. IPTP e NIFV continuaram apresentando taxas muito próximas, até aos 58 DAE. Aos 61 DAE, NIFV alcançou a taxa máxima de produção de matéria seca, isto é, 22,07 g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, seguido por NIFF, IPTP e ISFV aos 67, 69 e 75 DAE com os valores de 20,59, 25,81 e 14,99 g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, respectivamente. A partir do ponto de máxima taxa de produção de MS, todos apresentaram uma diminuição nos valores desta taxa. O tratamento NIFV apresentou declínio mais acentuado na taxa de crescimento.

No ensaio de 1998/99, até aos 30 DAE destacadamente, separam-se dois grupos nas taxas de produção de MS, IPTP e NIFV com taxas maiores e ISFV juntamente com NIFF com taxas menores. A partir desta data, o tratamento IPTP passou a apresentar taxas de produção de matéria seca maiores que os demais tratamentos, e o tratamento ISFV taxas de produção de matéria seca menores. O tratamento NIFV apresentou valores de taxa de crescimento crescentes menores que IPTP, ao passo que NIFF apresentou valores crescentes maiores que NIFV, ultrapassando este aos 44 DAE. O ISFV atingiu primeiro a Ct máxima, aos 56 DAE, com 13,71 g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, seguido de NIFF, NIFV e IPTP com 28,23, 21,09 e 34,72 g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>, ocorridos aos 60, 63 e 66 DAE, respectivamente. Como ocorreu em 1997/98, a partir do máximo valor apresentado, todos os tratamentos apresentaram valores declinantes.

$$Ct(t) = \frac{-A \cdot b \cdot e^{-k \cdot t} \cdot (-k)}{(1 + b \cdot e^{-k \cdot t})^2} \quad (4.2)$$

em que

Ct (t) = taxa de produção de matéria seca total (g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>);

A = massa seca final estimada pelo modelo (g m<sup>2</sup>);

k = taxa constante (d<sup>-1</sup>);

b = parâmetro da equação; e

e = base do logaritmo natural

SIBMA (1968) mostrou que muitas culturas, crescendo em condições ótimas de manejo, alcançavam e mantinham taxas de crescimento da ordem de 15 a 20 g m<sup>2</sup> dia<sup>-1</sup>. Isto também foi demonstrado por GREENWOOD et al. (1977), para diversas culturas, e por MONTEITH (1977), para cereais e legumes. Os resultados obtidos no presente estudo estão de acordo com os desses autores, uma vez que, com exceção de ISFV, todos os demais tratamentos estiveram um bom período do ciclo dentro desta faixa,

apresentando valores até superiores. Estes resultados chegaram superar em até três vezes aqueles encontrados por MELGES et al. (1989) para a variedade cultivada de soja UFV-2, a uma densidade de 35 plantas por metro quadrado, que foram de  $9,84 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , para o tratamento em condições ótimas, e  $5,72 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para o tratamento com 50% de sombreamento. BUTTERY (1970) encontrou  $17,20 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$ , para uma densidade de 32 plantas  $\text{m}^{-2}$ , enquanto KÖLLER et al. (1970) encontraram  $18,00 \text{ g m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  para uma densidade de 24 plantas  $\text{m}^{-2}$ .

As taxas máximas de produção de matéria seca ocorreram no período entre o final do florescimento e início da formação e enchimento de vagens.

#### 4.3.1.3 Taxa de crescimento relativo

Pode-se também calcular o crescimento para uma única planta ou para estandes de plantas, expresso por unidade de massa seca total, como uma taxa de crescimento relativo (RGR). Denominada “índice de eficiência” (BLACKMAN, 1919), a RGR expressa o crescimento em termos de uma taxa de aumento no tamanho, por unidade de tamanho. Isto permite comparações mais equitativas que na taxa de crescimento absoluto. O símbolo utilizado para RGR, quando se trabalha com taxa de aumento da massa seca total por planta, (W), expresso por unidade de massa, é o R, e as unidades  $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$  (HUNT, 1990).

As taxas de crescimento relativo da cultura ( $R_w$ ) (Figuras 4.5 e 4.6), foram calculadas, utilizando-se a Equação 4.4, que é uma derivada da equação de Gompertz (Equação 4.3). A equação de Gompertz foi ajustada aos dados de  $\log_e W$  versus tempo. Os parâmetros foram os do Quadro 4.4

As taxas de crescimento relativo máximo da cultura, no ensaio de 1997/98, para os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF foram 0,118, 0,102, 0,113 e 0,118  $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ , atingidas aos 16, 18, 18 e 14 DAE, respectivamente (Figura 4.5). Do início do ciclo até atingir o valor máximo de  $R_w$ , o tratamento NIFF apresentou ligeira superioridade em relação a IPTP, embora, a partir do ponto máximo, tenha apresentado valores sempre inferiores a IPTP até o final do ciclo. O tratamento NIFV apresentou valores menores que os de IPTP até aos 44 DAE, quando, então, passou a mostrar resultados bem semelhantes. ISFV também apresentou valores inferiores aos de IPTP, até aos 51 DAE, e a partir daí chegou a superar IPTP no final do ciclo.

Estatisticamente, apenas IPTP e NIFF são iguais, pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000), a 5% de probabilidade.

Quadro 4.4 – Parâmetros do modelo de Gompertz ajustado aos dados de matéria seca total logaritimizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	7,3018	0,7359	0,0439	0,998
	ISFV	6,6908	0,7524	0,0414	0,998
	NIFV	7,0914	0,7456	0,0432	0,997
	NIFF	7,0532	0,7090	0,0456	0,998
1998/99	IPTP	7,5024	0,8022	0,0433	0,997
	ISFV	6,4424	0,8412	0,0427	0,995
	NIFV	6,9879	0,8696	0,0466	0,998
	NIFF	7,0725	0,8193	0,0429	0,994

No ensaio de 1998/99, IPTP, ISFV e NIFV atingiram os valores máximos de  $R_w$  aos 18 DAE e NIFF aos 20 DAE (Figura 4.6). Os valores para estes tratamentos foram 0,120, 0,101, 0,120 e 0,112  $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ , respectivamente. IPTP e NIFV atingiram a taxa máxima de produção de matéria seca. Entre esses tratamentos, do início até atingirem o máximo, houve ligeira superioridade de IPTP, que, após atingir o máximo, apresentou valores sempre maiores que NIFV, por todo o tempo restante do ciclo da cultura. NIFF mostrou valores de  $R_w$  inferiores a IPTP e NIFV, mas superiores a ISFV, tendência esta que permaneceu até o fim do ciclo.

$$\log_e W(t) = A \cdot e^{-e^{b-k \cdot t}} \quad (4.3)$$

$$R_w(t) = (A \cdot e^{-e^{b-k \cdot t}}) \cdot (-e^{b-k \cdot t}) \cdot (-k) \quad (4.4)$$

em que

$R_w(t)$  = taxa de crescimento relativo da cultura ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ );

t = tempo ou dias após a emergência (dia);

A = valor máximo de  $\log_e$  MS da cultura estimado pelo modelo ( $g\ m^{-2}$ );

k = taxa constante ( $d^{-1}$ );

b = parâmetro da equação; e

e = base do logaritmo natural.

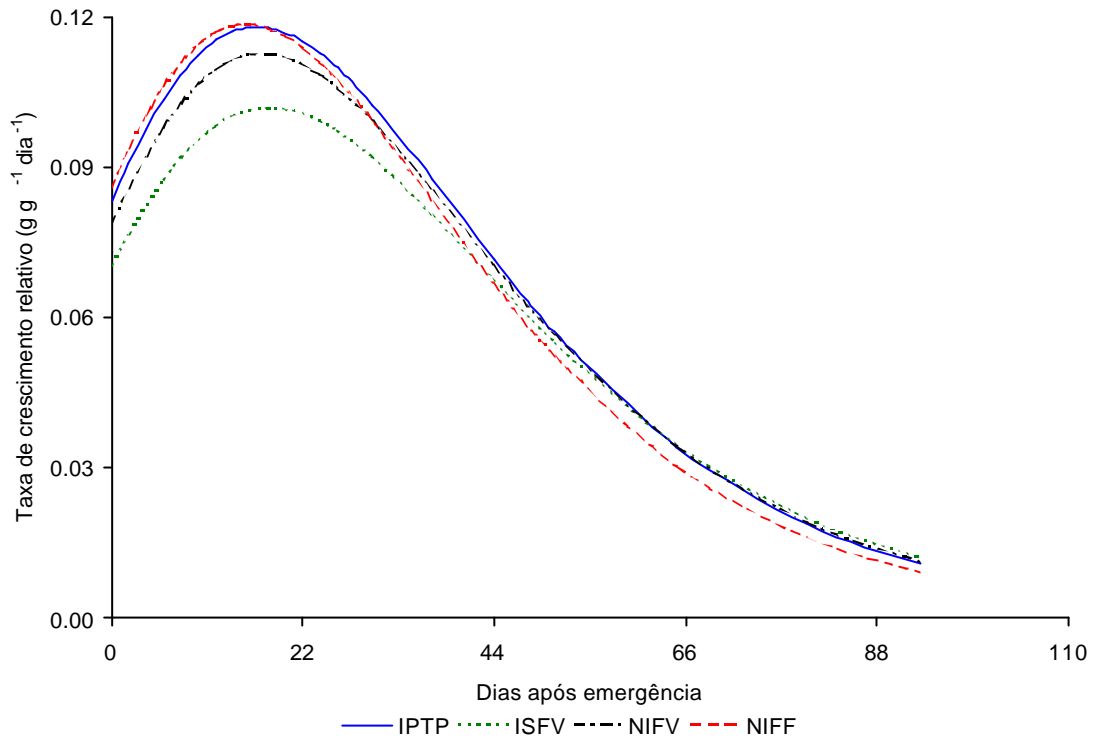


Figura 4.5 – Taxa de crescimento relativo da cultura ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

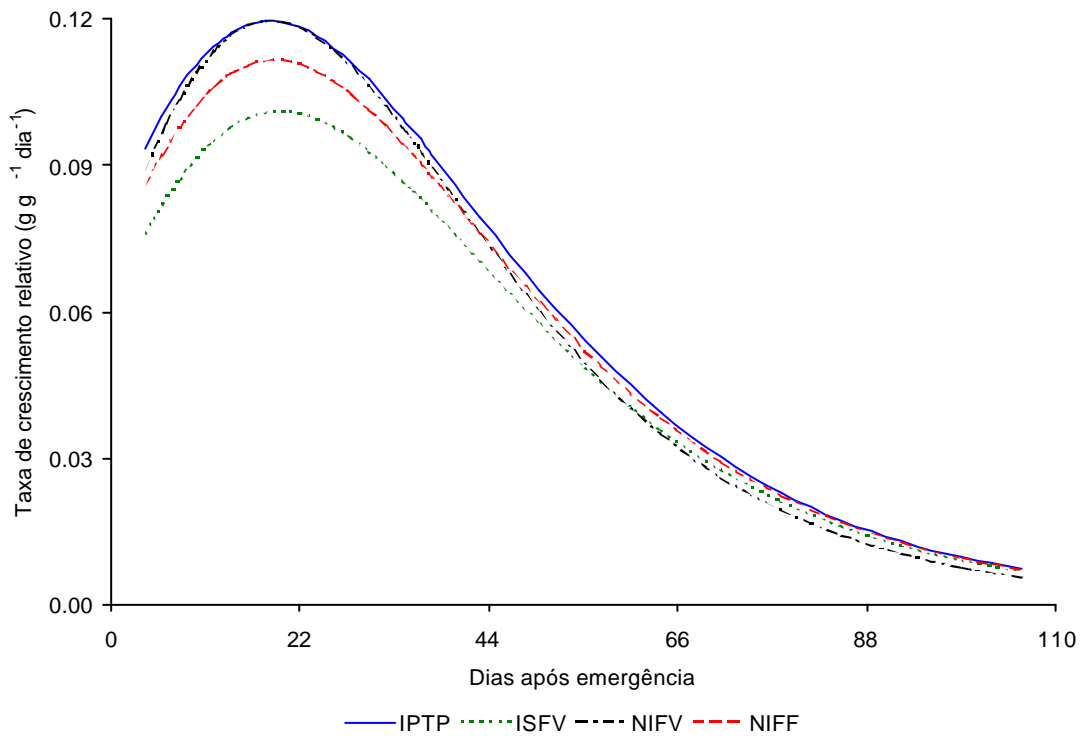


Figura 4.6 – Taxa de crescimento relativo da cultura ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

Nos dois ensaios,  $R_w$  apresentou a mesma tendência, ou seja, valores mais elevados no início do ciclo e um decréscimo com o aumento da idade das plantas. Dentre os tratamentos, o mais estável foi IPTP. ISFV apresentou, praticamente, os mesmos valores no ponto máximo, nos dois experimentos. IPTP e NIFV apresentaram valores máximos maiores, em 1998/99, e IPTP e NIFF apresentaram valores máximos maiores em 1997/98. A tendência esperada foi aquela apresentada em 1997/98, uma vez que no início do ciclo IPTP e NIFF encontram-se em ambientes bem semelhantes, embora o resultado obtido no ensaio de 1998/99 possa ser devido ao sombreamento que, no NIFF, foi em torno de 20%. A queda mais drástica apresentada por NIFF, em 1997/98, pode ter sido devida à aplicação do tratamento (estresse hídrico).

A explicação para o comportamento verificado em todos os tratamentos, nos dois ensaios, ou seja, crescente até em torno de 20 DAE e decrescente até o final do ciclo pode ser o seguinte: de zero a mais ou menos 20 DAE, a planta vive da translocação de assimilados do cotilédone e da fotossíntese crescente realizada por seu aparelho fotossintético em formação. Aos 20 dias de idade, as plantas atingem sua máxima capacidade de captura de recursos, ocorrendo, então, a mínima concorrência entre os órgãos da planta e entre plantas, atingindo, dessa forma, o máximo valor na taxa de crescimento relativo, declinante a partir deste ponto em razão da competição crescente, tanto entre órgãos quanto entre plantas (MONTEITH, 2000).

Os valores da taxa de crescimento relativo máximo, observados neste estudo, estão de acordo com aqueles encontrados por MELGES et al. (1989), KÖLLER et al. (1970) e SCOTT e BATCHELOR (1979), que encontraram 0,10, 0,13 e 0,17  $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ , respectivamente.

A tendência observada nos tratamentos, ou seja, maior  $R_w$  para os tratamentos com maiores níveis de radiação, está de acordo com o observado por MELGES, et al. (1989) e por ROCHA et al. (1970). Os resultados do presente estudo concordam também com aqueles obtidos por MIGLIORANZA (1992), que encontrou valores maiores de  $R_w$ , para cultura de feijão irrigado, em relação ao tratamento sem irrigação.

#### **4.3.1.4 Taxa assimilatória líquida**

É possível derivar a taxa fotossintética líquida por unidade de área foliar ( $L_A$ ), denominada taxa de assimilação líquida (NAR). Como um índice da eficiência foliar (BRIGGS et al., 1920), NAR representa a eficiência produtiva das plantas, calculada em

ralação à área foliar total e não em relação à massa seca total, como ocorre na R. Geralmente, seu símbolo de representação é o E, sendo as unidades  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$  (HUNT, 1990).

NAR permite perdas respiratórias, à noite, de tecidos que não realizam fotossíntese. Assim, ela não é totalmente equivalente às medidas de  $P_n$  realizadas somente nas folhas (JONES, 1994).

A taxa assimilatória líquida foi obtida, ajustando-se o modelo de Gompertz (Equação 4.5) aos dados de matéria seca logaritimizadas ( $\log_e W$ ) e a Função racional (Equação 4.6) aos dados de área foliar, ou índice de área foliar logaritimizadas ( $\log_e L_A$ ), sendo os parâmetros os do Quadro 4.5. Assim, se  $\ln W = f_W(t)$  e  $\ln L_A = f_L(t)$ , então  $E_L = (1/L_A) (dW/dt) = f_W'(t) \cdot \exp[f_W(t) - f_L(t)]$ .

$$\ln(W) = (A \cdot e^{-e^{b-k \cdot t}}) \quad (4.5)$$

em que

$\ln(w)$  = matéria seca acumulada logaritimizada ( $g\ m^{-2}$ );

t = tempo ou dias após a emergência (dia); e

A, b, k = parâmetros da equação, descritos na equação 4.3 (Quadro 4.4).

$$Y = \frac{a + b \cdot x}{1 + c \cdot x + d \cdot x^2}; \quad (\ln(L_A) = \frac{a + b \cdot t}{1 + c \cdot t + d \cdot t^2}) \quad (4.6)$$

em que

$\ln(L_A)$  = área foliar logaritimizada;

t = tempo ou dias após a emergência (dia); e

a, b, c, d = parâmetros da equação.

Os valores da taxa assimilatória líquida ( $E_L$ ) foram máximos no início do ciclo da cultura, logo após a germinação (Figuras 4.7 e 4.8). No ensaio de 1997/98 (Figura 4.7), aos quatro dias após a emergência, os valores foram de 17,102, 12,645, 17,530 e 16,949  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente. No ensaio de 1998/99, na mesma data, os valores de  $E_L$  foram 13,868, 9,748, 11,081 e 9,128  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , para a mesma ordem dos tratamentos. Os valores de 1997/98 estão acima daqueles encontrados por MELGES et al. (1989) e os de 1998/99 abaixo. MELGES et al. (1989) encontraram um máximo de 14,0  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , em condições ótimas, enquanto, os resultados obtidos no presente estudo, nos dois ensaios, foram superiores ao encontrado por KOLLER et al. (1970), que foi 8,5  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , aos 30-35 dias.

Quadro 4.5 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de índice de área foliar logaritimizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-6,1452	0,2111	0,0915	-0,0004	0,979
	ISFV	-6,1920	0,1707	0,1033	-0,0006	0,970
	NIFV	-6,0603	0,2010	0,0759	-0,0002	0,973
	NIFF	-6,2488	0,2149	0,1032	-0,0004	0,975
1998/99	IPTP	-4,8285	0,1695	0,0183	0,0003	0,990
	ISFV	-4,9396	0,1351	0,0269	0,0005	0,976
	NIFV	-4,8472	0,1589	0,0215	0,0003	0,993
	NIFF	-4,4314	0,1403	0,0160	0,0003	0,985

Estes valores máximos de  $E_L$  no início do ciclo, em 1997/98, diminuíram, em todos os tratamentos, até aos 18 DAE, quando IPTP, ISFV, NIFV e NIFF apresentaram os valores de 5,100, 3,782, 4,824 e 5,058  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , respectivamente. A partir desta data, os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF começaram a apresentar valores crescentes, atingindo o novo pico aos 45, 47, 44 e 43 DAE, quando os valores foram 7,466, 5,769, 6,075 e 7,303  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , respectivamente. Depois disto, os valores de  $E_L$  decresceram até o final do ciclo.

No ensaio de 1998/99, os valores máximos de  $E_L$  decresceram até datas diferentes entre os tratamentos. IPTP atingiu o mínimo de 5,563  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , aos 28 DAE, ISFV e NIFV atingiram os mínimos de 3,911 e 5,277  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , respectivamente, aos 24 DAE, enquanto o NIFF atingiu o valor mínimo de 5,035  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , aos 26 DAE. Aqui, verifica-se que os tratamentos estressados atingiram mais cedo o ponto de mínimo  $E_L$  (Figura 4.8).

A partir dos valores mínimos, os tratamentos começaram a apresentar valores crescentes, sendo que o IPTP atingiu o novo máximo, aos 43 DAE, com 5,685  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , ISFV atingiu o máximo aos 50 DAE, com 4,659  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , NIFV atingiu o novo máximo aos 36 DAE, com 5,421  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ , e o NIFF atingiu o máximo, aos 41 DAE, com 5,181  $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ . Após essas datas, os valores voltaram a decrescer até o final do ciclo.

Este comportamento concorda com o observado por outros autores (MELGES et al., 1989; MIGLIORANZA, 1992; WALLACE & MUNGER, 1965; BRANDES et al., 1973; STONE et al., 1988). Embora autores relacionem o aumento em  $E_L$ , após a queda

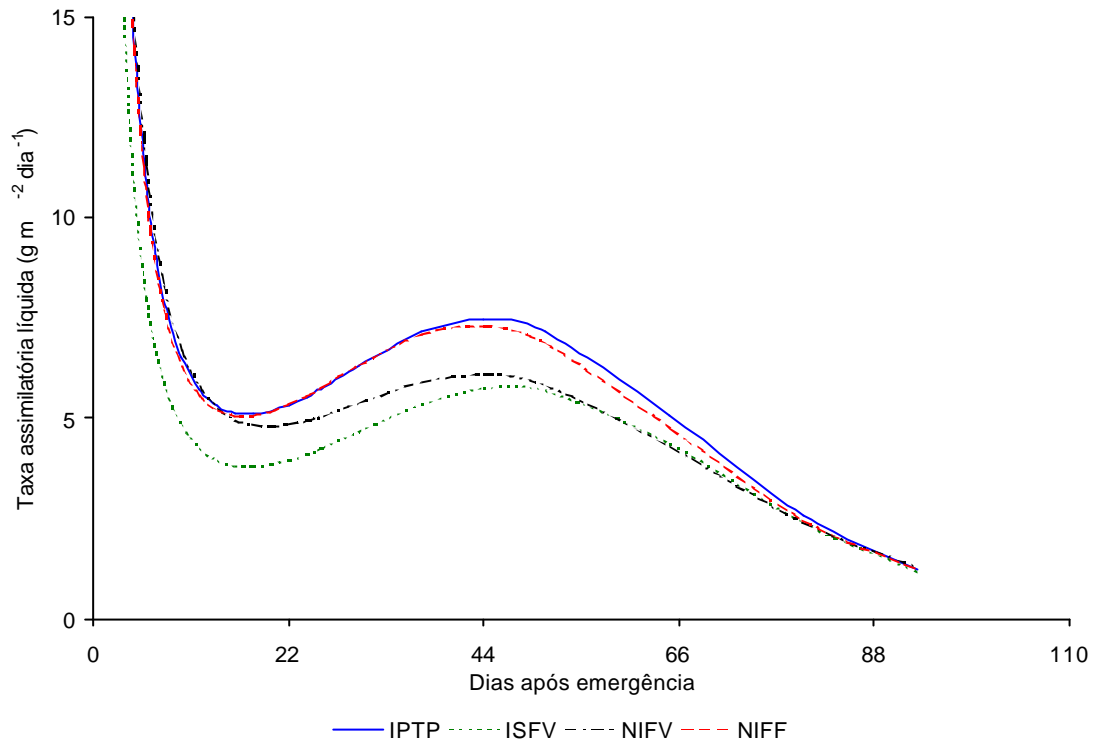


Figura 4.7 – Taxa assimilatória líquida ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

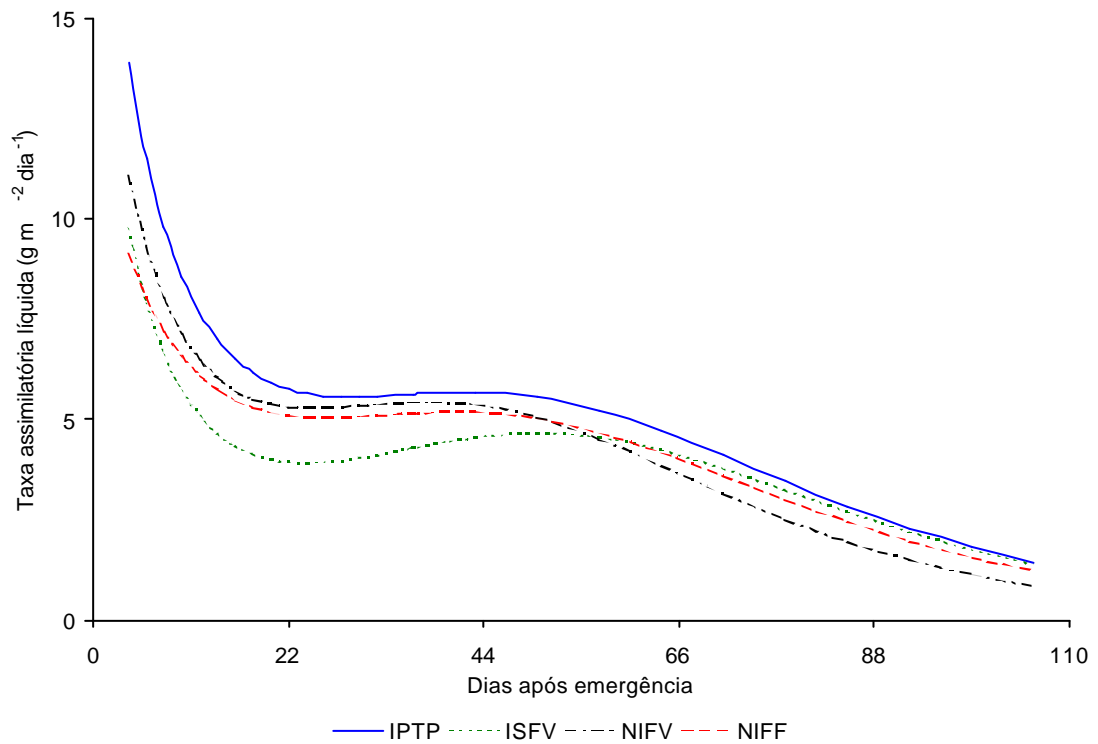


Figura 4.8 – Taxa assimilatória líquida ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

na fase vegetativa, com o aumento na força do dreno metabólico representado pelas vagens (BRANDES et al., 1973; MIGLIORANZA, 1992), no presente estudo o mais provável é o aumento na força dos drenos metabólicos representados pelo caule e folhas, possivelmente para montar uma estrutura que atendesse aos drenos vagens e grãos. A ocorrência de queda na fase vegetativa é devida, possivelmente, à presença dos cotilédones como principal fonte de reservas para a planta, decrescendo até zero (queda dos cotilédones), sendo que, após a queda destes, as folhas ainda pouco expandidas e com densidade estomatal baixa, apresentam baixo rendimento (CIHA e BRUN, 1975). Após este período, ocorre o aumento na capacidade fotossintética da área foliar e conseqüente aumento na força do dreno para caule e folhas.

No ensaio de 1997/98, observou-se que os tratamentos IPTP e NIFF apresentaram valores bem próximos entre si, ao longo de todo o ciclo, com leve tendência à diminuição nos valores de NIFF, a partir da aplicação do tratamento. Entretanto, os tratamentos NIFV e ISFV apresentaram uma grande diminuição nos valores de  $E_L$ , em relação a IPTP, sendo que, no ISFV a diminuição foi maior que no NIFV, durante a aplicação dos tratamentos, após a qual os dois apresentaram valores semelhantes.

No ano de 1998/99, o IPTP destacou-se dos demais, durante todo ciclo, enquanto ISFV foi o que mais diminuiu  $E_L$  durante o período em que esteve sombreado, apresentando uma recuperação nos valores desse parâmetro, depois de cessado o sombreamento, e até ultrapassando NIFV e NIFF. O tratamento NIFV apresentou comportamento muito estável, em relação a IPTP, superando NIFF na fase vegetativa, mas sendo pior, que este na fase reprodutiva.

Durante os dois anos de experimento, a cultura apresentou a mesma tendência, em todos os tratamentos, com variações mais fortes apenas no primeiro ensaio.

O tratamento IPTP, com maiores níveis de radiação solar incidindo sobre seu dossel, apresentou os maiores valores de  $E_L$ . No ano de 1997/98, ISFV apresentou os menores valores de  $E_L$  devido, principalmente, ao forte sombreamento sofrido. NIFV, apesar do fraco sombreamento, apresentou baixo  $E_L$ , também, em decorrência do estresse hídrico sofrido. Em 1998/99, na primeira metade do ciclo, o sombreamento foi o principal responsável pelos valores de  $E_L$ . Sendo  $E_L$  um índice morfológico, estreitamente ligado à fotossíntese (EVANS, 1972), os valores inferiores de  $E_L$ , nas plantas estressadas, resultaram do decréscimo nas taxas fotossintéticas líquidas dessas plantas. Estes resultados estão de acordo com o encontrado por MELGES et al. (1989).

Segundo WATSON (1952 e 1958),  $E_L$  varia mais com a idade da planta do que com as condições ambientais. No caso de suprimir o déficit hídrico, por exemplo, os valores de  $E_L$  voltam a ser semelhantes aos das plantas sem estresse, parecendo, assim, não ocorrer nenhuma mudança na estrutura e na composição da folha (BRANDES et al., 1973). De fato, BRANDES et al. (1973), BASCUR et al. (1985) e COSTA et al. (1989) não encontraram diferenças significativas entre  $E_L$  de plantas de feijão, em boas condições hídricas, quando comparadas com aquelas submetidas ao estresse por falta de água. Assim, se  $E_L$  não varia substancialmente, então, as variações no acúmulo de matéria seca são devidas às diferenças em IAF. Entretanto, HOSTALÁCIO e VÁLIO (1984), LOPES et al. (1986) e STONE et al. (1988) mostraram que  $E_L$  pode ser influenciada pela disponibilidade de água. No presente trabalho, as plantas submetidas ao estresse por sombreamento e falta de água, em qualquer das fases estudadas, apresentaram diminuições nos valores tanto de  $E_L$  quanto de IAF, causando, portanto, decréscimos em  $C_t$  e ocasionando quedas em  $W_t$ .

### **4.3.2 Crescimento da área foliar**

#### **4.3.2.1 Índice de área foliar**

O índice de área foliar (IAF) é um índice do aspecto (frondosidade) da cultura, ou mais rigorosamente, da área de solo sobre a qual está o estande. Efetivamente, ele representa o número médio de camadas completas de material foliar apresentado pela cultura (WATSON, 1947). É a razão entre a área foliar total da cultura ( $L_A$ ) e a área de solo total sobre a qual está o estande ( $P$ ); geralmente é a área de folhas por unidade de área de solo.

À área foliar de todos os tratamentos foi ajustado o modelo de Gauss (Equação 4.7), por este representar melhor o comportamento do crescimento da área foliar, no campo. Os parâmetros para os tratamentos, nos dois ensaios (Quadro 4.6), foram utilizados a fim de estimar o índice de área foliar dos tratamentos nos dois ensaios (Figura 4.9 e 4.10).

No ensaio de 1997/98 (Figura 4.9), o tratamento IPTP apresentou uma área foliar maior, seguido por NIFV, NIFF e ISFV que apresentaram valores de IAF em ordem decrescente. Os valores máximos atingidos foram 7,905, 7,236, 5,996 e 4,501  $m^2$  folha  $m^{-2}$  solo, que foram atingidos aos 81, 75, 76 e 74 DAE por IPTP, NIFV, NIFF e ISFV, respectivamente.

Quadro 4.6 – Parâmetros do modelo de Gauss ajustado aos dados de índice de área foliar dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Tratamento		Parâmetros			r
		a	b	c	
1997/98	IPTP	7,9058	80,5896	25,4768	0,999
	ISFV	4,5014	74,0836	21,9035	0,990
	NIFV	7,2374	74,5274	21,9735	0,998
	NIFF	5,9964	76,0525	25,0823	0,990
1998/99	IPTP	8,6637	79,4660	24,4665	0,986
	ISFV	3,5867	73,0832	22,3383	0,960
	NIFV	6,5094	76,0673	22,6723	0,985
	NIFF	6,5950	74,3569	20,0267	0,978

Neste ensaio, ISFV teve o aparelho fotossintético mais prejudicado. O NIFV apresentou uma área foliar média maior que NIFF, mostrando que, na fase vegetativa, a cultura de soja tolera bem a falta de água.

No ensaio de 1998/99 (Figura 4.10), IPTP destacou-se com maior IAF, enquanto ISFV apresentou o menor IAF. NIFV e NIFF apresentaram valores semelhantes.

Os valores máximos para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF ocorreram aos 79, 73, 76 e 74 DAE, respectivamente, e foram 8,662, 3,587, 6,509 e 6,594 m<sup>2</sup>folham<sup>-2</sup>solo, respectivamente.

Os valores máximos de IAF, alcançados neste experimento, são superiores aos encontrados por MELGES et al. (1989), que foi de 2,9 m<sup>2</sup>folha m<sup>-2</sup>solo. Este fato pode ser devido à menor densidade de plantas, no presente experimento. Não houve coincidência entre as datas de máxima área foliar e máxima taxa de produção de matéria seca. Os valores máximos de IAF ocorreram, sempre, após os valores máximos de C<sub>t</sub>. MELGES et al. (1989) encontraram resultados semelhantes.

A pequena redução no IAF dos tratamentos sob estresse hídrico pode ter sido devida ao sombreamento, que foi em torno de 24%, provocado pela cobertura de proteção contra chuva. Os tratamentos sob estresse hídrico (NIFV e NIFF) passaram toda a fase vegetativa cobertos, o que pode ter favorecido o aumento do IAF, como observado também por ALLEN (1975) e LOPES et al. (1982). A grande queda no IAF de ISFV foi devida, possivelmente, ao menor número de folhas, conforme observado

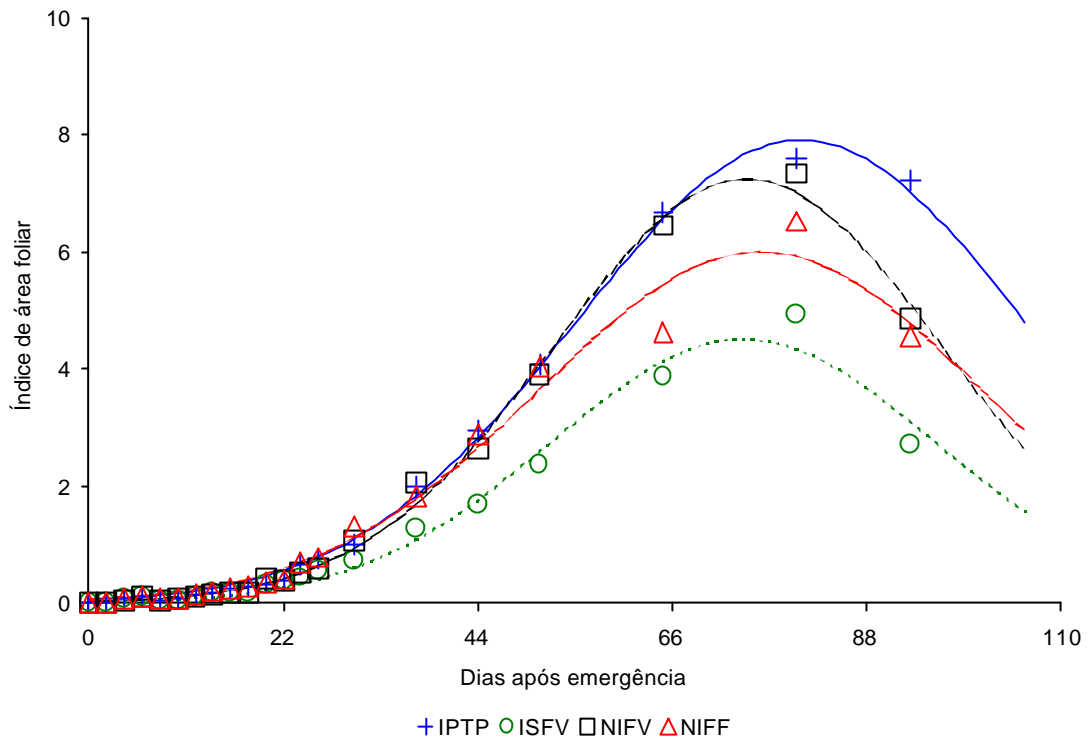


Figura 4.9 – Índice de área foliar ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

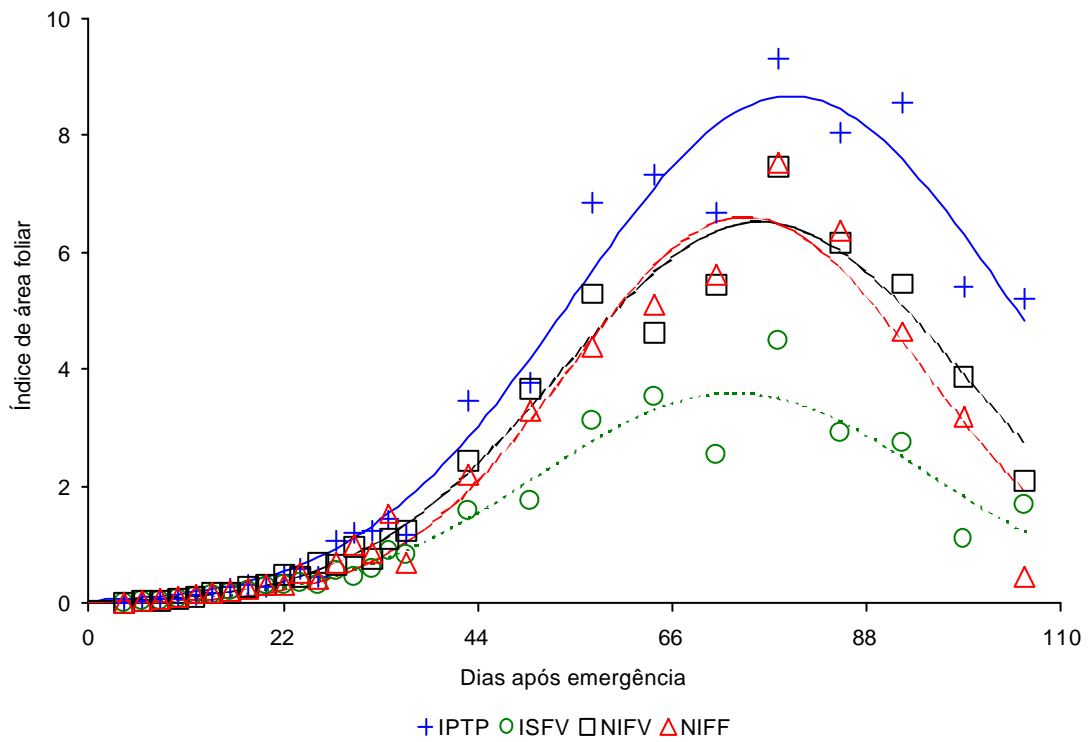


Figura 4.10 – Índice de área foliar ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

por CROOKSTON et al. (1975). A cultura de soja não apresentou aumento na área foliar de folhas individuais com o sombreamento, ao contrário do observado por SINGH (1978), em cevada, que apresenta área semelhante sob vários níveis de radiação solar, com o aumento na área de cada folha compensando o menor número de folhas.

Após atingir o valor máximo de IAF, todos os tratamentos apresentaram declínio neste índice. A queda na curva de IAF ocorreu provavelmente, em virtude da taxa de senescência sobrepujando a taxa de emissão foliar. Deficiências hídricas prolongadas aceleram a senescência e a abscisão foliar (BOYER, 1976). A abscisão foliar pode ser retardada, mediante maior disponibilidade de água, aumentando a duração da área foliar (STONE et al., 1988). No presente trabalho, verificou-se um efeito negativo sobre IAF, causando um declínio mais precoce nas curvas representando IAF, tanto do estresse hídrico quanto do sombreamento.

$$L(t) = A \cdot e^{\frac{-(t-b)^2}{2 \cdot c^2}} \quad (4.7)$$

em que

- L(t) = índice de área foliar;
- t = tempo ou dias após a emergência (dia);
- A = índice de área foliar máxima estimada pelo modelo; e
- b, c = parâmetros da equação.

#### 4.3.2.2 Taxa de crescimento de área foliar

As taxas de crescimento de área foliar ( $C_A$ ), foram obtidas, a partir da derivada da equação de Gauss (Equação 4.7) ajustada aos dados de IAF (Figuras 4.11 e 4.12).

$$C_L(t) = (A \cdot e^{\frac{-(t-b)^2}{2 \cdot c^2}}) \cdot \left( \frac{-2 \cdot t + 2 \cdot b}{2 \cdot c^2} \right) \quad (4.8)$$

em que

- $C_L(t)$  = taxa de crescimento de área foliar ( $m^2 \cdot m^{-2} \cdot dia^{-1}$ );
- t = tempo ou dias após a emergência (dia);
- A = índice de área foliar máxima estimada pelo modelo; e
- b, c = parâmetros da equação.

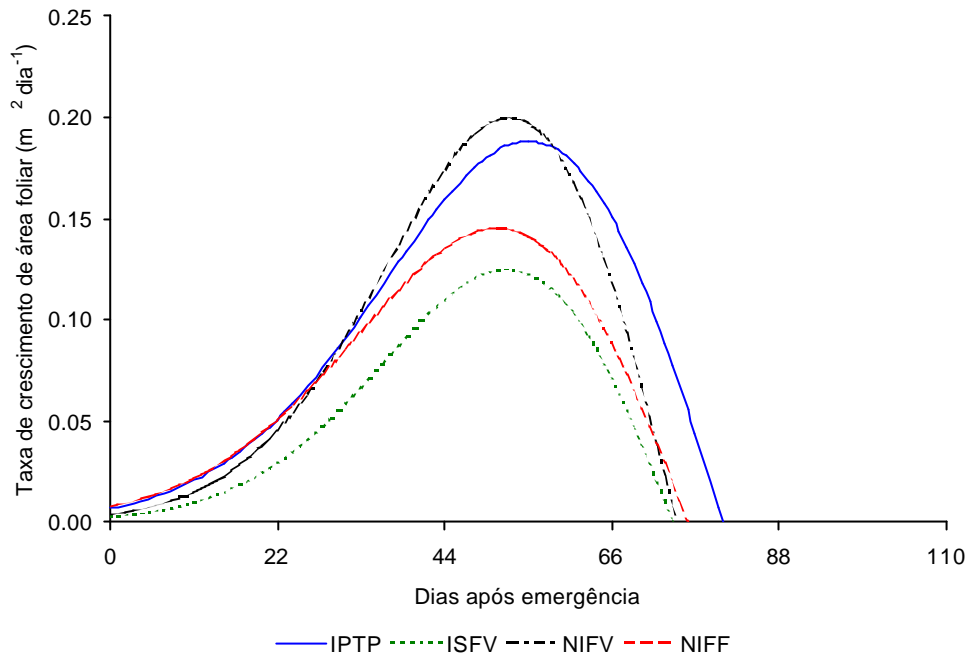


Figura 4.11 – Taxa de crescimento da área foliar ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

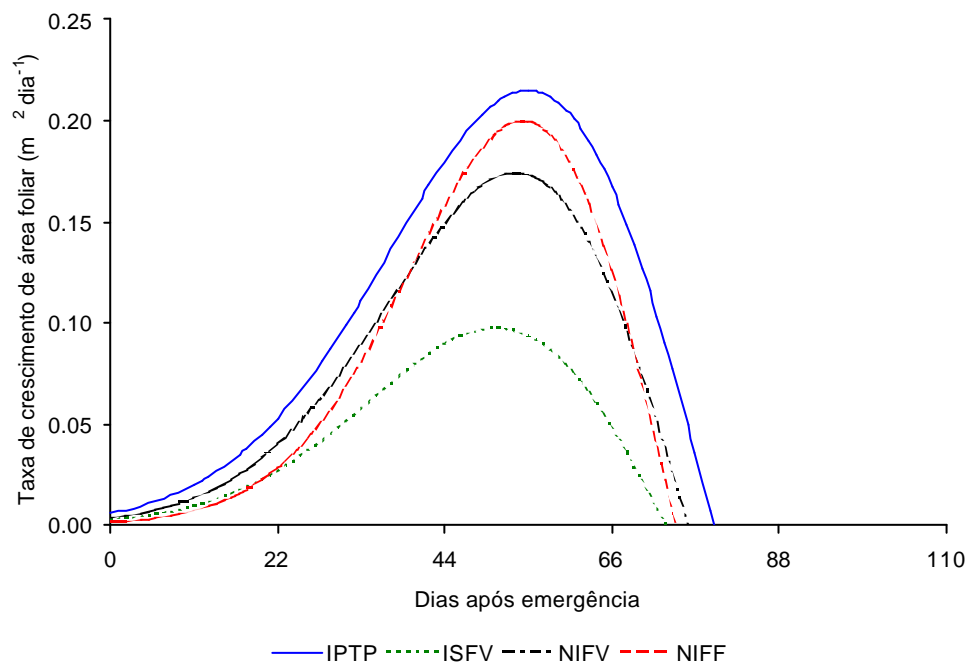


Figura 4.12 – Taxa de crescimento da área foliar ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

No ensaio de 1997/98, as taxas de crescimento foram máximas aos 55 DAE, para IPTP com  $0,188 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; aos 52 DAE para ISFV com  $0,125 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; aos 53 DAE, para NIFV com  $0,200 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; e aos 51 DAE, para NIFF com  $0,145 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ .

No ensaio de 1998/99, estas taxas foram máximas aos 55 DAE, para IPTP com  $0,215 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; aos 51 DAE, para ISFV com  $0,097 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; aos 53 DAE, para NIFV com  $0,174 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ ; e aos 54 DAE, para NIFF com  $0,200 \text{ m}^2 \text{ dia}^{-1}$ .

No ensaio de 1997/98, durante a fase vegetativa, a tendência foi de uma taxa de crescimento maior em NIFV, seguida de IPTP, NIFF e ISFV. Após atingir os valores máximos, todos os tratamentos iniciaram a apresentação de valores menores de  $C_A$ , sendo que os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF atingiram valores de  $C_A$  iguais a zero, aos 80, 74, 74 e 76 DAE, respectivamente.

No ensaio de 1998/99, a tendência foi a esperada, isto é, IPTP apresentando a maior taxa, seguido de NIFF, NIFV e ISFV, embora até aos 36 DAE, o tratamento NIFV tenha apresentado valores de  $C_A$  maiores que NIFF. A partir de seus máximos, os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF diminuíram, atingindo valores de  $C_A$  iguais a zero, aos 79, 73, 76 e 74 DAE, respectivamente.

Os valores negativos de  $C_A$  indicam a predominância da senescência e abscisão foliares sobre a produção de folhas novas (MIGLIORANZA, 1992). Os valores nulos de  $C_A$  foram atingidos, no início da fase de enchimento de grãos, mostrando que, nesta fase, grãos são o dreno preferencial e que o dossel já se encontra totalmente formado para atender ao enchimento de grãos.

O comportamento da evolução de  $C_A$  mostra que o sombreamento provocou altos valores de  $C_A$  em NIFV e NIFF, no final da fase vegetativa, embora tal ocorrência, não tenha sido nítida, em ISFV, ao contrario do encontrado por MELGES (1983).

#### **4.3.2.3 Taxa de crescimento relativo da área foliar**

A função racional (Equação 4.6), ajustada aos dados de  $\log_e L_A$  versus tempo, foi derivada, gerando a Equação 4.9, a qual foi utilizada para calcular as taxas de crescimento relativo da área foliar ( $R_A$ ).

Todos os tratamentos, nos dois ensaios, apresentaram taxa máxima de crescimento relativo de área foliar, no início do ciclo (Figura 4.13 e 4.14). Os valores apresentados aos 10 DAE, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, no ensaio de 1997/98, foram  $0,208$ ,  $0,192$ ,  $0,212$  e  $0,206 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 4.13), enquanto no ensaio de 1998/99 os valores para esta mesma época (10 DAE) foram  $0,192$ ,  $0,179$ ,  $0,185$

e  $0,165 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  (Figura 4.14), para a mesma seqüência de tratamentos, respectivamente.

$$R_A(t) = \frac{((b \cdot (1 + c \cdot t + d \cdot t^2)) - ((a + b \cdot t) \cdot (c + 2 \cdot d \cdot t)))}{(1 + c \cdot t + d \cdot t^2)^2} \quad (4.9)$$

em que

$R_A(t)$  = taxa de crescimento relativo da área foliar ( $\text{m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

$t$  = tempo ou dias após a emergência (dias); e

$a, b, c, d$  = parâmetros da equação.

Nos dois ensaios, todos os tratamentos tiveram os valores de  $R_A$  diminuídos. No ensaio de 1997/98, isto ocorreu de forma mais drástica no início, sendo que a partir dos 44 DAE, os valores tornaram-se praticamente constantes e nenhum dos tratamentos atingiu valor igual a zero. No início do ciclo, o menor valor foi sempre apresentado por ISFV e o maior por NIFV. O NIFF foi o tratamento cujos valores de  $R_A$  foram mais diminuídos.

No ensaio de 1998/99, o decréscimo dos valores de  $R_A$  foi mais suave, em relação a 1997/98, sendo que ao final do ciclo (106 DAE), todos atingiram uma  $R_A$  igual a zero. Neste ensaio, ISFV apresentou os menores valores ao longo do ciclo, embora, até aos 15 DAE, o tratamento NIFF tenha apresentado os menores valores de  $R_A$ . No início do ciclo, os valores em ordem decrescente foram IPTP, NIFV, ISFV e NIFF. Esta situação mudou aos 15 DAE, quando ISFV apresentou a pior situação e NIFF e NIFV tenderam a apresentar valores muito semelhantes. A partir dos 44 DAE o IPTP, NIFV e NIFF apresentaram valores muito próximos até o final do ciclo, enquanto ISFV continuou apresentando, destacadamente, valores menores de  $R_A$ .

Em 1998/99, estatisticamente, apenas IPTP e NIFV, são iguais pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000), a 5% de probabilidade.

Os valores máximos encontrados no presente trabalho são menores que os encontrados para feijão por MIGLIORANZA (1992) que foram  $0,23 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , para feijão sob estresse hídrico, e  $0,27 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para feijão irrigado, concordando com os encontrados por COSTA et al. (1989), também para feijão, que foram de 0,18 a  $0,39 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para plantas irrigadas e de 0,12 a  $0,19 \text{ m}^2 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  para plantas sob estresse hídrico.

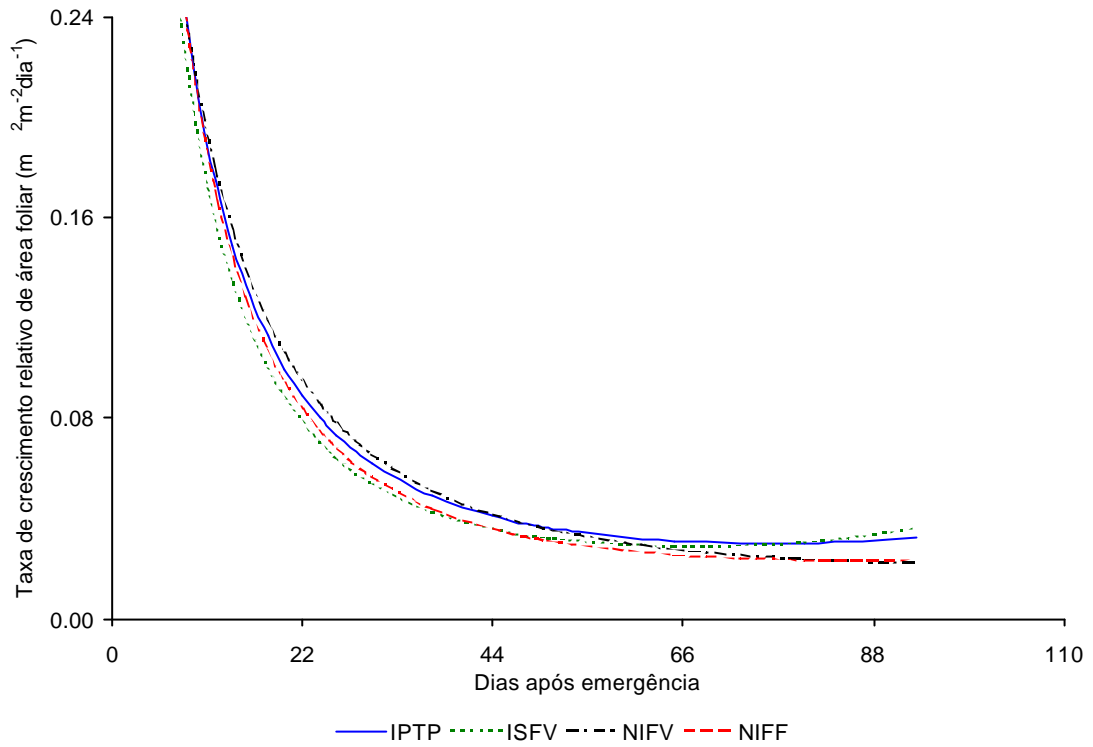


Figura 4.13 – Taxa de crescimento relativo da área foliar ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

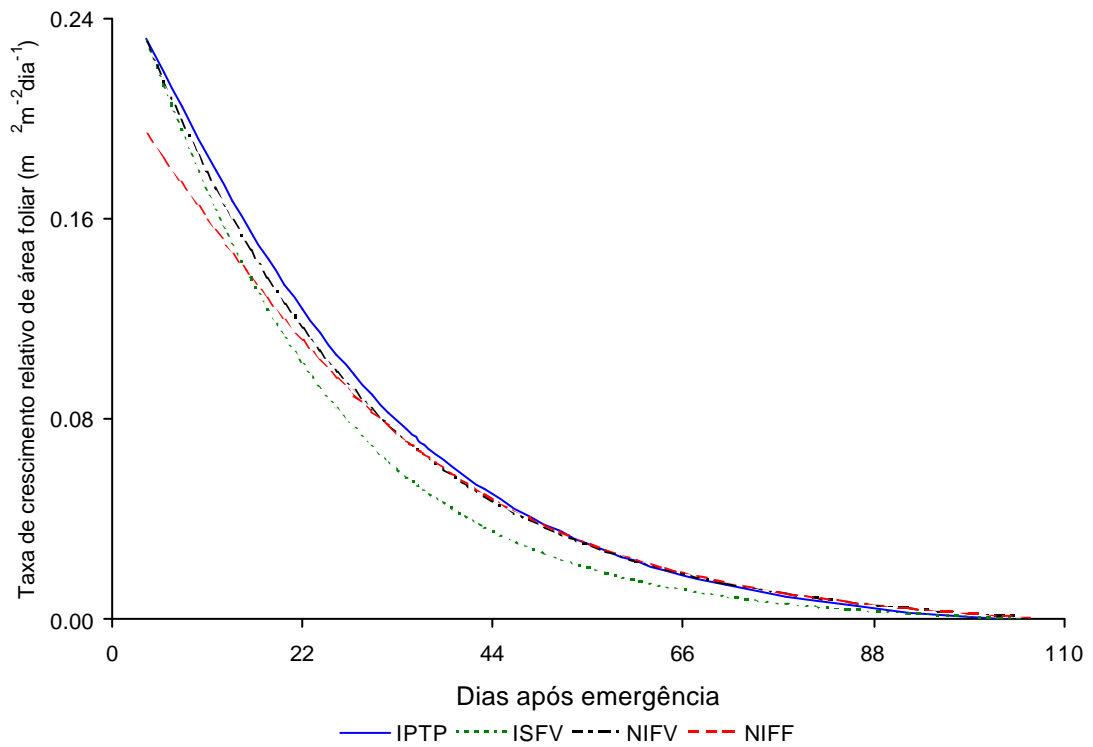


Figura 4.14 – Taxa de crescimento relativo da área foliar ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

#### 4.3.2.4 Razão de área foliar

As razões simples como a razão de área foliar (LAR), que é um índice morfológico do aspecto (frondosidade) da planta (BRIGGS et al., 1920), é uma medida do balanço entre o que se obtém e o custo disto, porque ele envolve componentes da planta, potencialmente, capazes de realizar fotossíntese e componentes potencialmente respirando (que não realizam fotossíntese), ou seja, é uma razão entre a área foliar total por planta ( $L_A$ ) e a massa seca total por planta ( $W$ ). Mais estritamente, LAR é um quociente de área foliar, embora o termo “razão” seja mais utilizado. LAR pode ser, simbolicamente, representado por  $F$  e nas dimensões  $m^2 g^{-1}$ .

A razão de área foliar ( $F_A$ ) foi calculada a partir da função racional (Equação 4.5) ajustada a  $\log_e L_A$  versus tempo e da equação de Gompertz (Equação 4.3) ajustada a  $\log_e W$  versus tempo; assim se  $\log_e L_A = f_L(t)$  e  $\log_e W = f_W(t)$ , então,  $F_A = L_A/W = \exp[f_L(t) - f_W(t)]$ . Os parâmetros utilizados na equação de Gompertz foram os do Quadro 4.4 e aqueles utilizados na função racional os do Quadro 4.5.

$F_A$  representa o tamanho da superfície assimilatória, em relação à matéria seca total ( $W_t$ ), e constitui o capital produtivo da planta (BRANDES et al., 1973).

Os valores de  $F_A$ , nos dois ensaios (Figura 4.15 e 4.16) seguiram um comportamento semelhante em todos os tratamentos, ou seja, aumentaram no início da fase vegetativa até atingir um máximo e, depois, declinaram até o final do ciclo.

No ensaio de 1997/98 (Figura 4.15), os tratamentos IPTP, ISFV e NIFV atingiram seus valores máximos aos 16 DAE e NIFF atingiu seu ponto máximo aos 14 DAE. O valor máximo de ISFV foi  $0,027 m^2 g^{-1}$ , e para os outros tratamentos, o valor máximo atingido foi  $0,023 m^2 g^{-1}$ . Neste ensaio, verificou-se que o sombreamento afetou  $F_A$ , que permaneceu superior ao IPTP por praticamente todo o período. Após seu pico máximo, NIFV apresentou valores de  $F_A$  próximos daqueles apresentados por ISFV e superiores àqueles apresentados por NIFF e IPTP que, em todo o ciclo, apresentaram valores muito próximos entre si.

No ensaio de 1998/99 (Figura 4.16), IPTP e ISFV apresentaram valores máximos aos 22 DAE, isto é,  $0,021$  e  $0,026 m^2 g^{-1}$ , respectivamente. NIFV e NIFF apresentaram o mesmo valor máximo de  $0,022 m^2 g^{-1}$ , aos 18 e 20 DAE, respectivamente. Neste ensaio, IPTP apresentou valores menores de  $F_A$ , em relação aos outros tratamentos, enquanto ISFV apresentou os maiores valores de  $F_A$  durante a aplicação do tratamento. Na fase vegetativa, NIFV apresentou valores de  $F_A$  maiores

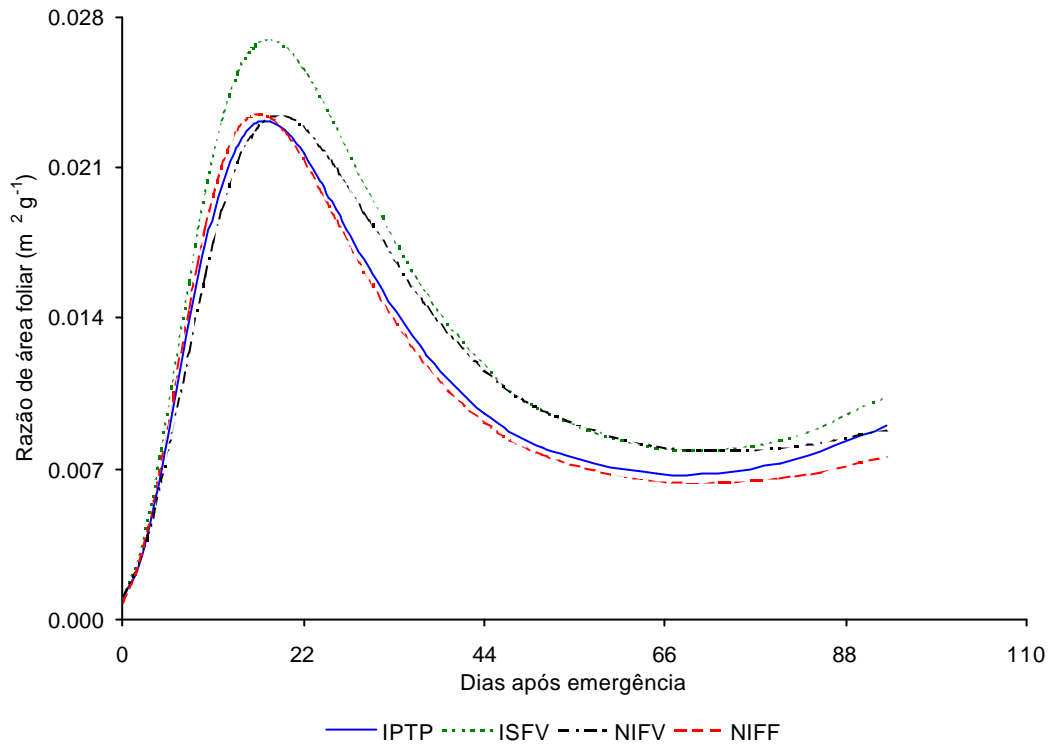


Figura 4.15 – Razão de área foliar ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

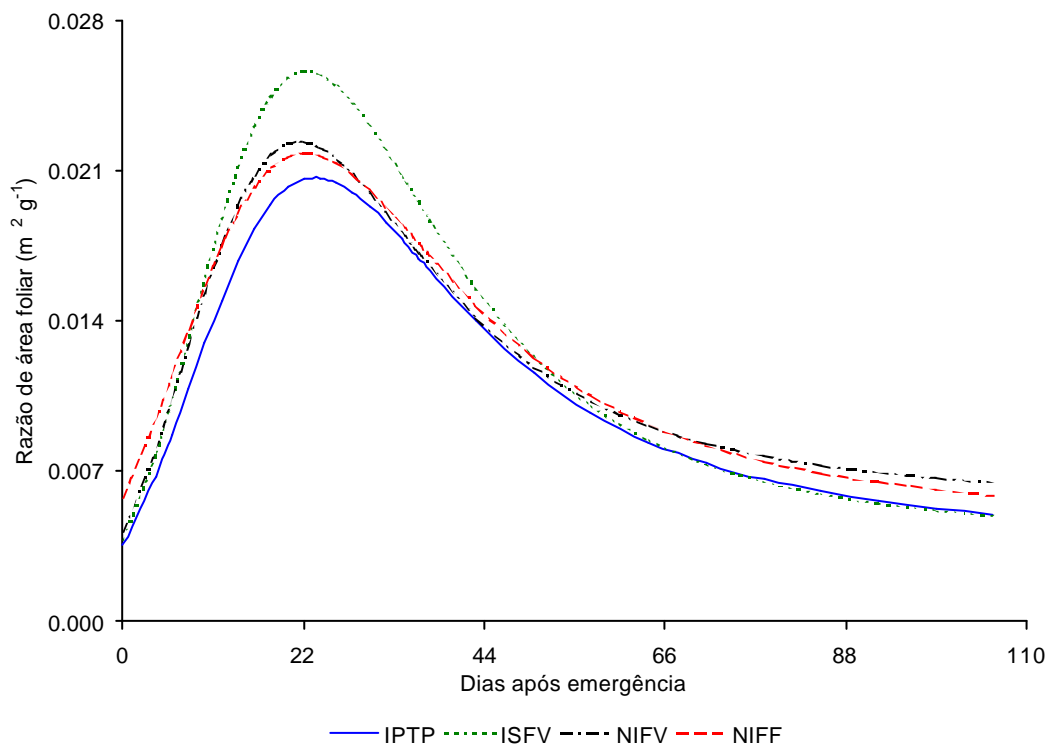


Figura 4.16 – Razão de área foliar ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

que IPTP, mas próximos aos de NIFF, que estava na fase vegetativa irrigado, porém coberto com plástico transparente que retinha 20% de PAR. Isto pode ter levado ao aumento nos valores de  $F_A$ , que se igualaram aos de NIFV o qual estava sob tratamento de estresse hídrico. No tratamento ISFV, a ocorrência de maior elevação nos valores de  $F_A$  pode ter sido devida ao sombreamento em torno de 50% neste tratamento.

Em 1997/98, estatisticamente, são iguais IPTP e NIFV; e IPTP e NIFF pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000), a 5% de probabilidade e em 1998/99 apenas NIFV e NIFF.

Valores mais elevados de  $F_A$ , para plantas de soja sombreadas, também foram verificados por MELGES (1989).

$F_A$  apresentou declínio com o envelhecimento das plantas, indicando o aumento na queda de folhas e o decréscimo na destinação de fotoassimilados para a produção de folhas, apesar do crescimento de IAF (SCOTT & BATCHELOR, 1979). As plantas que apresentam baixo  $F_A$  têm dreno mais ativo para seus componentes assimilatórios e, portanto, um baixo  $F_A$  favorece a obtenção de altas taxas fotossintéticas (BUTTERY & BUZZELL, 1972).

#### 4.3.2.5 Razão de massa foliar

A razão de massa foliar (LWR), que representa um índice do estado da planta, em uma base de massa seca, pode ser considerada uma medida do investimento produtivo da planta porque envolve o custo relativo sobre os órgãos potencialmente fotossintetizantes. É a razão entre a massa seca foliar total por planta ( $L_W$ ) e a massa seca total por planta ( $W$ ). Mais estritamente, é uma fração da massa foliar, mas o termo razão já está consagrado.

A razão de massa foliar foi calculada a partir da função racional (Equação 4.6) ajustada aos dados de massa total de folhas logaritmizados ( $\log_e L_W$ ) *versus* tempo e da função de Gompertz (equação 4.5) ajustada a  $\log_e W$  *versus* tempo; assim, se  $\log_e L_W = f_L(t)$  e  $\log_e W = f_W(t)$ , então,  $L_W/W = \exp[f_L(t) - f_W(t)]$ . Os parâmetros da função racional ajustada aos dados de  $\log_e L_W$  são os do Quadro 4.7 e os da função de Gompertz os do Quadro 4.4.

As curvas da razão de massa foliar ( $F_W$ ) no ensaio de 1997/98 (Figura 4.17) e no ensaio de 1998/99 (Figura 4.18), seguiram uma tendência semelhante, ou seja, aumentando no início do ciclo até um máximo e diminuindo até o final do ciclo.

Quadro 4.7 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de massa seca da área foliar total logaritimizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-2,8775	0,4462	0,0713	-0,0001	0,995
	ISFV	-3,2325	0,4366	0,0815	-0,0001	0,997
	NIFV	-3,0009	0,4285	0,0674	-0,0001	0,994
	NIFF	-2,8755	0,4596	0,0738	-0,0001	0,995
1998/99	IPTP	-0,8105	0,1646	0,0024	0,0002	0,994
	ISFV	-0,1829	0,0642	-0,0173	0,0002	0,980
	NIFV	-0,6319	0,1267	-0,0063	0,0002	0,994
	NIFF	-0,2182	0,0904	-0,0118	0,0002	0,986

No ensaio de 1997/98, os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF atingiram o máximo aos 20 DAE e seus valores foram de 0,588, 0,599, 0,593 e 0,581 g de folha, por grama de planta, respectivamente. A partir deste ponto, todos declinaram até valores baixos no final do ciclo, sendo que ISFV e NIFV tenderam a apresentar valores maiores que IPTP e NIFF a apresentar valores menores que IPTP.

No ensaio de 1998/99, IPTP atingiu o máximo de 0,504, aos 26 DAE; ISFV atingiu o máximo de 0,459, aos 22 DAE; NIFV atingiu o máximo de 0,487, aos 28 DAE e NIFF atingiu o máximo de 0,466 aos 24 DAE.

Em 1997/98, todos os tratamentos são iguais entre si, estatisticamente, pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000), a 5% de probabilidade.

No ensaio de 1998/99, ISFV apresentou valores menores que os demais tratamentos, durante o período de sombreamento, sendo que, depois, passou a apresentar valores superiores aos demais, mostrando um forte investimento na área foliar, após a retirada do tratamento. NIFV apresentou valores de  $F_w$  elevados, na fase vegetativa, e diminuiu esses valores, em relação a IPTP, somente após os 70 DAE. NIFF mostrou tendência para valores menores que IPTP e NIFV, em parte da fase vegetativa, e depois apresentou valores próximos àqueles de IPTP e NIFV.

O ensaio de 1997/98 apresentou curvas mais drásticas de  $F_w$  que o ensaio de 1998/99, o qual mostrou um comportamento mais suave, sendo que, neste último, os tratamentos mostraram diferenças mais claras. Isso pode ter sido devido ao número de

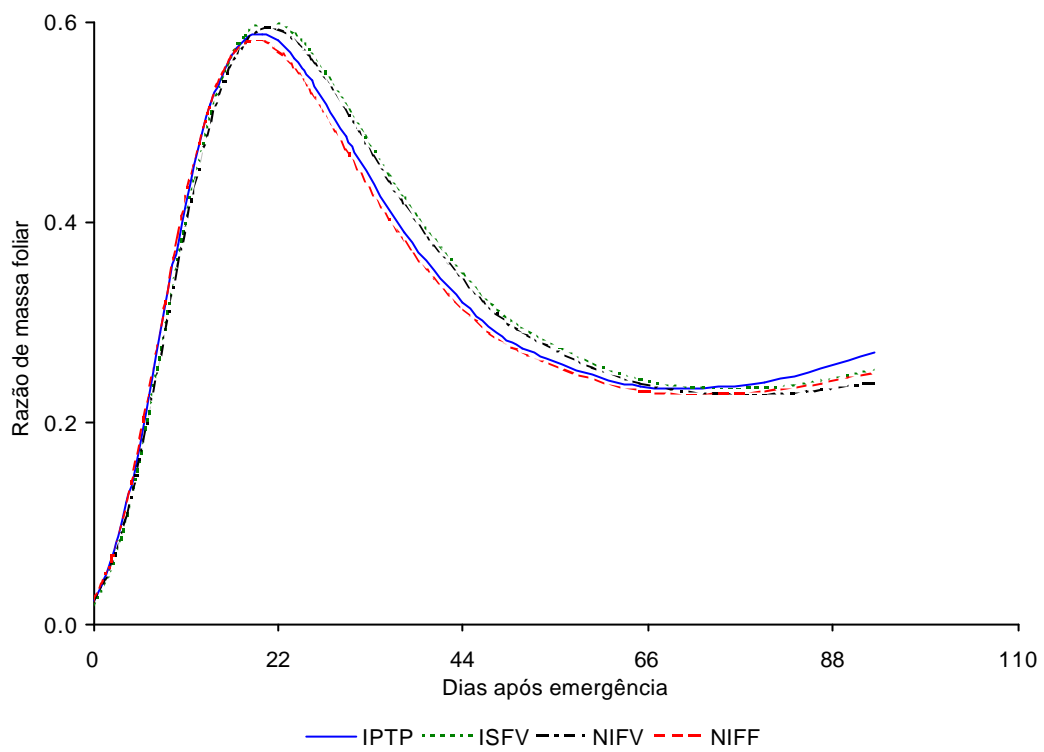


Figura 4.17 – Razão de massa foliar ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

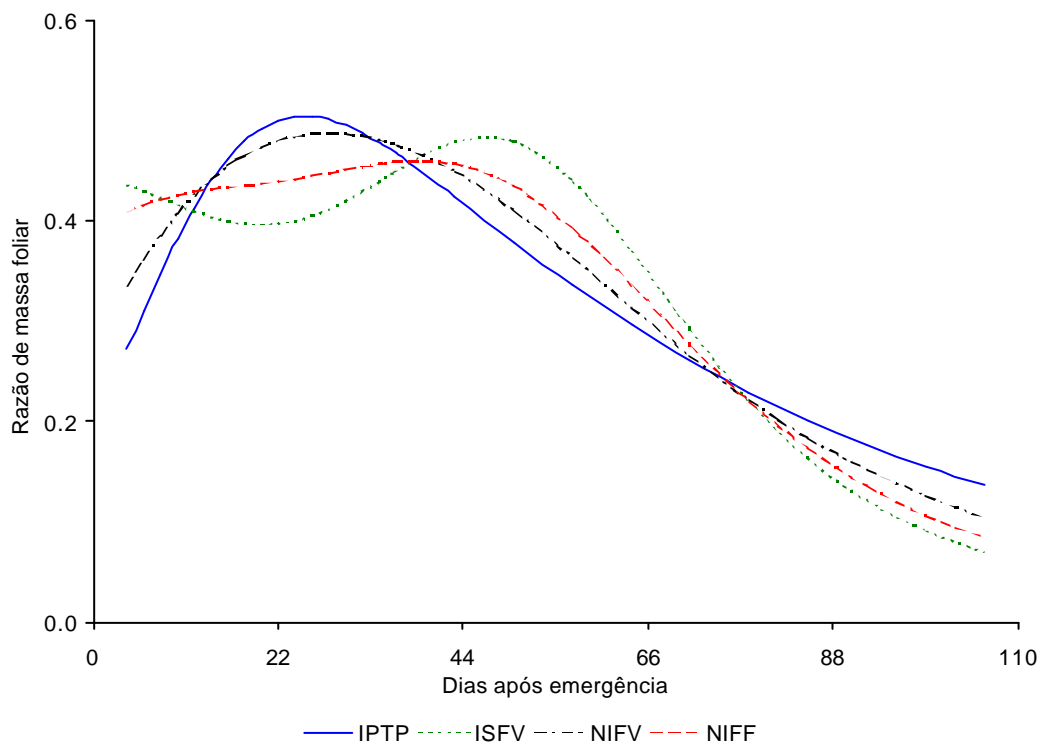


Figura 4.18 – Razão de massa foliar ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

amostragens ao longo do ciclo, que em 1997/98 foi menor.

Os valores máximos observados em 1997/98, para IPTP e ISFV, estiveram abaixo daqueles verificados por MELGES (1983), enquanto em 1998/99, todos os tratamentos, apresentaram valores abaixo daqueles verificados por essa autora.

#### 4.3.2.6 Área foliar específica

A área foliar específica (SLA), que é muito importante na modelagem de crescimento de plantas, é também uma razão simples, sendo um índice do aspecto (frondosidade) da folha. O termo “específico” significa dividido pelo peso. É uma medida de densidade, ou de espessura relativa porque envolve a área da folha em relação à sua massa seca, ou seja, razão entre a área foliar total por planta ( $L_A$ ) e a massa seca das folhas por planta, ( $L_W$ ). É expresso nas unidades  $m^2 g^{-1}$ .

A área foliar específica ( $S_A$ ), (Figura 4.19 e 4.20) apresentou uma fase crescente no início do ciclo, atingindo um máximo após o qual diminuiu, voltando a mostrar uma tendência para valores maiores no final do ciclo.

No ensaio de 1997/98 (Figura 4.19), IPTP atingiu o máximo de  $0,048 m^2 g^{-1}$  aos seis DAE; ISFV atingiu o máximo de  $0,061 m^2 g^{-1}$  aos quatro DAE; NIFV, aos dois DAE, registrou  $0,048 m^2 g^{-1}$ , enquanto NIFF atingiu o máximo de  $0,049 m^2 g^{-1}$  aos seis DAE. A partir do máximo no início do ciclo, ISFV superou os demais tratamentos; de forma bem definida, todos declinaram, sendo que os valores de ISFV e NIFV diminuiram de forma mais lenta que IPTP e NIFF, enquanto mostraram valores bem próximos, com NIFF tendendo a valores menores que IPTP. Os tratamentos NIFV e ISFV também apresentaram valores próximos, na fase reprodutiva. Todos os tratamentos, ao final do ciclo, tenderam a apresentar valores crescentes de  $S_A$ .

No ensaio de 1998/99 (Figura 4.20), na fase vegetativa, o pico foi atingido mais tarde, em relação ao ensaio de 1997/98. IPTP atingiu o máximo de  $0,041 m^2 g^{-1}$ , aos 22 DAE, juntamente com ISFV e NIFF, que apresentaram os valores máximos de  $0,056$  e  $0,047 m^2 g^{-1}$ , respectivamente. NIFV atingiu o valor máximo aos 20 DAE, apresentando uma  $S_A$  de  $0,047 m^2 g^{-1}$ . Aqui novamente, como no ensaio de 1997/98, ISFV apresentou o maior valor de  $S_A$  inicial.

No ensaio de 1998/99, os valores oscilaram de forma mais drástica e, com exceção de IPTP, ao final do ciclo, os demais tratamentos apresentaram valores até mais elevados que no início do ciclo (Figura 4.20).

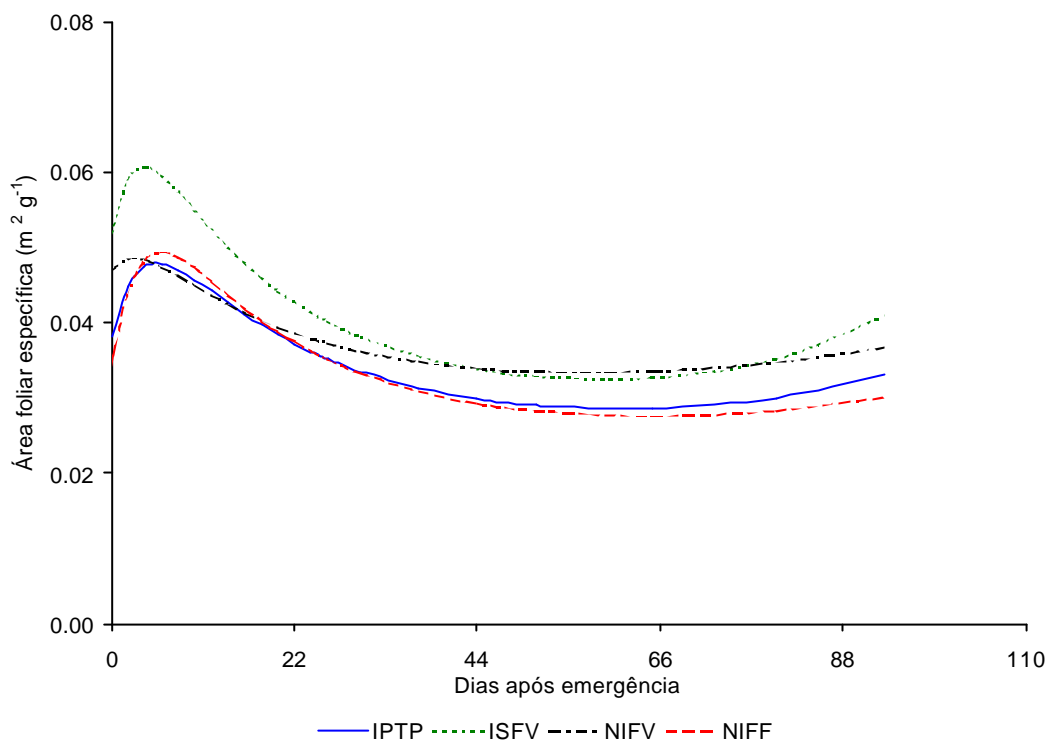


Figura 4.19 – Área foliar específica ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

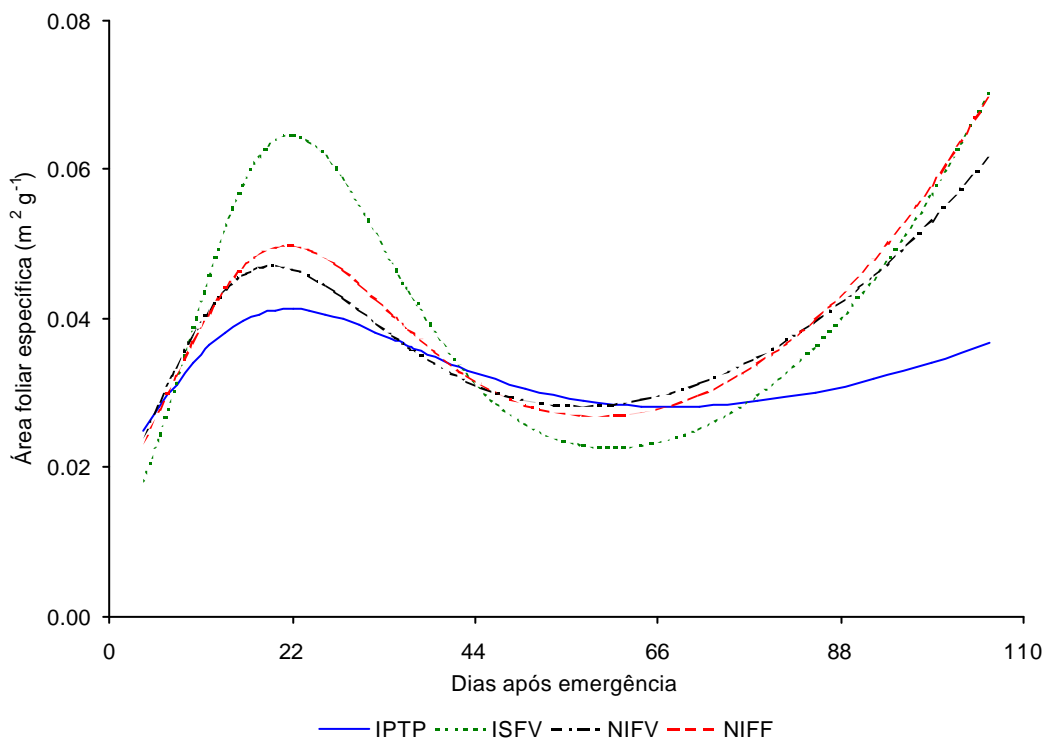


Figura 4.20 – Área foliar específica ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

Em geral, no início do ciclo a  $S_A$  foi tanto maior quanto mais intenso foi o sombreamento, sendo que, com a retirada do sombreamento, ISFV tendeu a diminuir  $S_A$ . Resultados semelhantes foram verificados por MELGES (1983), em soja, COOPER (1966) em alfafa, e LOPES et al. (1982) em feijão.

O aumento de  $S_A$  é um resultado do aumento da superfície das células do mesófilo, por unidade de área foliar, o que ocasiona uma alta razão superfície/volume dentro das folhas (NOBEL et al., 1975; DORNHOFF & SHIBLES, 1970). Estas alterações reduzem a resistência do mesófilo ao fluxo de  $CO_2$  (NOBEL et al., 1975), possibilitando a obtenção de maiores taxas fotossintéticas (PEARCE et al., 1969; DORNHOFF e SHIBLES, 1970). O aumento de  $S_A$ , em plantas sombreadas, denota o auto-ajustamento da planta para captar o máximo de radiação solar. O decréscimo de  $S_A$  durante o crescimento indica que as folhas não se expandem às mesmas taxas de acúmulo de matéria seca nas folhas, ou seja, ocorre um espessamento da folha (SCOTT & BATCHELOR, 1979).

#### **4.3.2.7 Duração de área foliar e biomassa**

A duração da área foliar (LAD) é uma medida da disponibilidade total da área foliar com o tempo, que também pode ser simbolizada por D (WATSON, 1952). É um parâmetro importante para verificação da duração da vitalidade do aparelho fotossintético da cultura. A área abaixo da curva (quando o IAF é plotado contra o tempo), mostra toda a oportunidade que a cultura possui para assimilação. LAD leva em conta não somente quanto de área foliar se desenvolve, mas quanto ela dura, sendo, portanto, uma expressão da área foliar por cultura ou por estação de cultivo (WATSON, 1947). Este mesmo procedimento, para verificar a vitalidade do estande, pode ser realizado e, assim, ser obtido um parâmetro equivalente ao D denominado “duração da biomassa” (BMD), o qual pode ser representado por Z (KVÌT et al., 1971).

As durações de área foliar (LAD) e biomassa (BMD) (Quadro 4.8) foram obtidas por meio da integral da equação de Gauss, ajustada aos dados de IAF e matéria seca total, de zero até o ponto máximo de crescimento.

Em 1997/98, IPTP apresentou os maiores valores de LAD e BMD, seguido por NIFV, NIFF e ISFV, para LAD, e por NIFF, ISFV e NIFV para BMD. A seqüência não esperada dos valores de BMD pode ser devida ao método de cálculo utilizado e ao número de amostragem ao longo do ciclo. Em 1998/99, os tratamentos apresentaram a

Quadro 4.8 – Duração da área foliar (LAD) e duração da biomassa (BMD) nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Área foliar			Biomassa		
		L <sub>MAX</sub>	t (d)	LAD (L d <sup>-1</sup> )	W <sub>MAX</sub> (g)	t (d)	BMD (g d <sup>-1</sup> )
1997/98	IPTP	7,9047	81	255,2880	1268,4959	102	48142,0000
	ISFV	4,5014	74	123,1070	804,1139	112	33521,2000
	NIFV	7,2357	75	202,6020	881,4095	88	26373,6000
	NIFF	5,9964	76	187,7310	1011,7315	99	38294,5000
1998/99	IPTP	8,6621	79	264,3250	1477,8755	98	50205,7000
	ISFV	3,5866	73	100,0120	503,1158	87	14658,6000
	NIFV	6,5094	76	184,3870	925,2524	94	30566,8000
	NIFF	6,5939	74	163,1470	956,6126	87	25571,7000

mesma seqüência para LAD e BMD, ou seja, IPTP, NIFV, NIFF e ISFV.

Observa-se que ISFV apresentou uma LAD menor, nos dois experimentos, sugerindo que o sombreado afetou o aparelho fotossintético e prejudicou sua recuperação, quando cessou o estresse. NIFV apresentou uma produção de folhas e biomassa próxima daquela de IPTP. Apesar de não sofrer estresse na fase vegetativa, NIFF teve sua área foliar e biomassa comprometidas pelo estresse hídrico, na fase de florescimento, o que demonstra ser esta fase uma das mais importantes na cultura de soja estudada. Os resultados para sombreado estão de acordo com MELGES (1983) e os relacionados ao estresse hídrico estão de acordo com STONE et al. (1988).

Os valores máximos de IAF (L<sub>MAX</sub>), atingidos em 1997/98, seguiram a seqüência de LAD e os valores máximos de matéria seca (W<sub>MAX</sub>) coincidiram com a seqüência de BMD de IPTP e NIFF, mas foram diferentes em NIFV e ISFV.

Em 1998/99, os valores de L<sub>MAX</sub> estiveram coerentes com IPTP e ISFV, mas invertidos em NIFV e NIFF com relação a LAD. O mesmo ocorreu com W<sub>MAX</sub> e BMD.

Em 1997/98, ISFV atingiu L<sub>MAX</sub> antes dos demais tratamentos, seguindo-se o NIFV, NIFF e IPTP. Em 1998/99, ISFV atingiu L<sub>MAX</sub> primeiro, novamente, sendo seguido por NIFF, NIFV e IPTP. Para W<sub>MAX</sub>, em 1997/98, a seqüência foi NIFV, NIFF, IPTP e ISFV e em 1998/99 foi ISFV, NIFF, NIFV e IPTP.

#### 4.3.2.8 Índice de colheita

O índice de colheita (HI) é de extrema importância, uma vez que é uma medida da fração da cultura que forma o componente comercializável. É a razão entre a massa seca do componente comercializável da cultura ( $W_M$ ) e a massa seca total da cultura ( $W$ ).

O índice de colheita foi calculado, levando em consideração somente a parte aérea da planta e desprezando-se a matéria seca da parte radicular.

À matéria seca da parte aérea logaritimizada foi ajustada a equação de Gompertz (Equação 4.3), sendo utilizados os parâmetros do Quadro 4.9. Aos dados de matéria seca de grãos foi ajustado o modelo da função racional (Equação 4.6), sendo utilizado os parâmetros do Quadro 4.10. O índice de colheita foi calculado como razão de massa foliar.

O índice de colheita apresentou diferenças entre os dois ensaios (Figura 4.21 e 4.22). IPTP apresentou, em 1997/98, um índice de colheita máximo igual a 0,44, ao passo que, em 1998/99, este valor caiu para 0,35. ISFV apresentou, em 1997/98, um índice de colheita máximo de 0,40 e em 1998/99 de 0,28. NIFV, em 1997/98, apresentou um índice de colheita da ordem de 0,26 e, em 1998/99, este valor subiu para 0,39. NIFF apresentou, em 1997/98, um índice de colheita da ordem de 0,38 e, em 1998/99, este valor caiu para 0,26. Em 1998/99, verificamos HI durante a colheita e os valores para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF foram 0,41, 0,35, 0,46 e 0,38, respectivamente. Estes valores estão de acordo, com a seqüência verificada na curva, ajustada, de HI (Figura 4.22).

A produção econômica de uma cultura depende de sua produção biológica e de seu índice de colheita. A Figura 4.27 relaciona a produtividade e duração da biomassa, mostrando haver linearidade entre estes dois parâmetros de crescimento. Embora nem sempre a alta produção biológica signifique necessariamente alto rendimento econômico (SHIBLES & WEBER, 1966; TANNER & AHMED, 1974), muitos trabalhos mostram alta correlação do rendimento de sementes com a biomassa (GARCIA, 1979; JOHNSON & MAJOR, 1979; COLASANTE & COSTA, 1981; MELGES et al., 1989). O índice de colheita (HI) expressa a eficiência de translocação de fotoassimilados para a parte economicamente importante da planta. Em geral, no presente experimento, HI variou aleatoriamente, independentemente dos tratamentos aplicados. Os valores encontrados estão de acordo com aqueles obtidos por MELGES et

Quadro 4.9 – Parâmetros do modelo de Gompertz ajustado aos dados de matéria seca total da parte aérea logaritimizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		a	b	c	
1997/98	IPTP	7,2729	0,8078	0,0435	0,998
	ISFV	6,6700	0,8346	0,0414	0,998
	NIFV	7,0736	0,8226	0,0430	0,997
	NIFF	7,0552	0,7813	0,0448	0,997
1998/99	IPTP	7,4303	0,8980	0,0443	0,997
	ISFV	6,2936	0,9529	0,0441	0,994
	NIFV	6,9084	0,9553	0,0472	0,998
	NIFF	7,0185	0,9112	0,0434	0,994

Quadro 4.10 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de matéria seca de grãos logaritimizados nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-39,5208	0,6144	-0,0271	0,0005	1,000
	ISFV	-44,3632	0,6441	-0,0489	0,0008	1,000
	NIFV	-36,0186	0,5413	-0,0574	0,0008	1,000
	NIFF	-38,3846	0,6056	-0,0283	0,0006	1,000
1998/99	IPTP	-31,3555	0,4682	-0,0318	0,0005	0,994
	ISFV	-23,2667	0,3257	-0,0321	0,0004	0,982
	NIFV	-32,8056	0,4886	-0,0349	0,0005	0,997
	NIFF	-34,2030	0,5158	-0,0496	0,0007	0,995

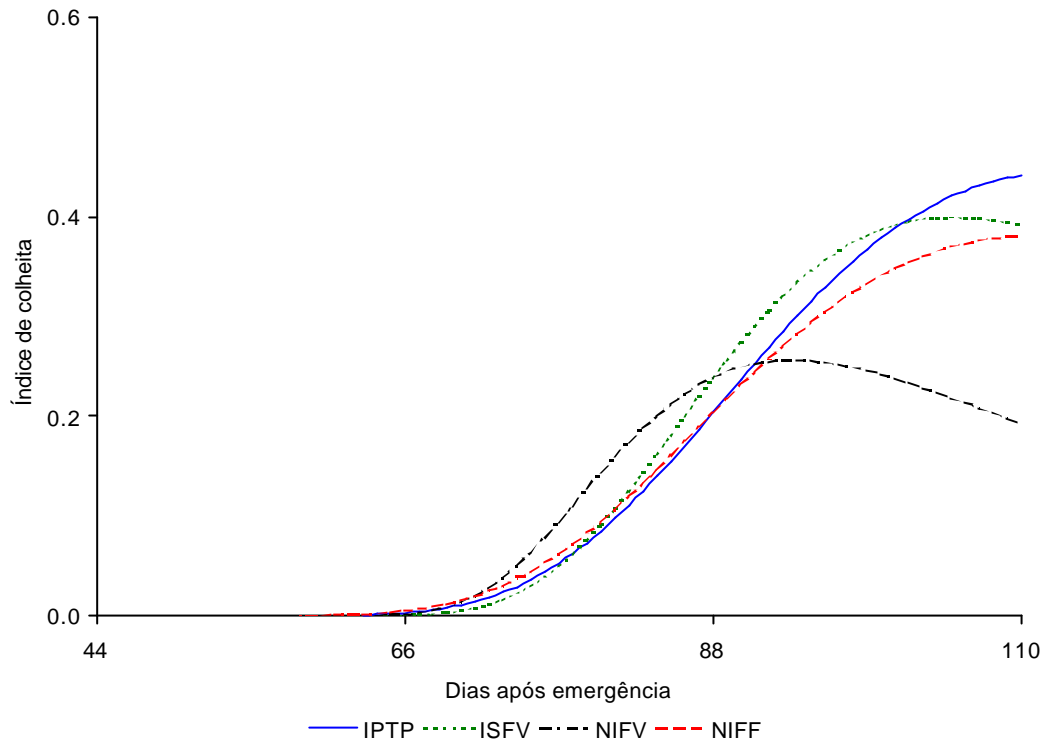


Figura 4.21 – Evolução do índice de colheita de todos os tratamentos da cultura de soja na estação de cultivo de 1997/98.

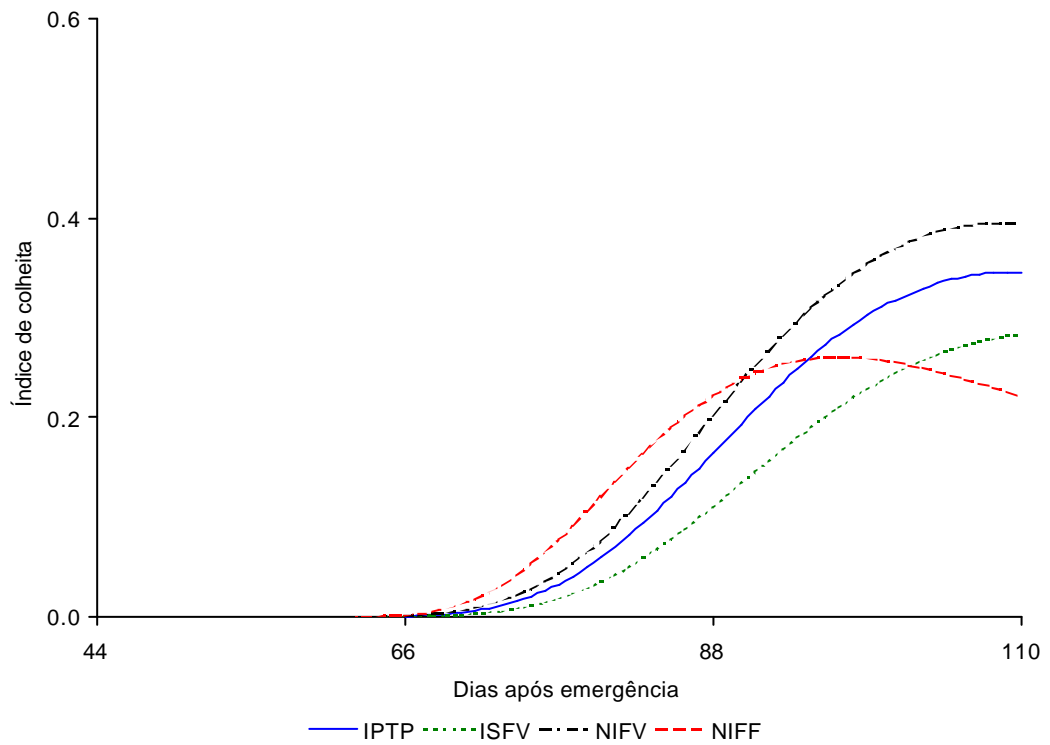


Figura 4.22 – Evolução do índice de colheita de todos os tratamentos da cultura de soja na estação de cultivo de 1998/99.

al. (1989), que encontraram valores variando entre 0,37 e 0,41.

No presente trabalho, não houve correlação direta entre HI e produtividade de grãos (Figuras 4.21, 4.22 e 4.25). Esta constatação está de acordo com GARCIA, 1979; JOHNSON e MAJOR, 1979; COLASANTE e COSTA, 1981; MELGES et al., 1989, que verificaram falta de associação e, até associação negativa, entre rendimento de sementes e HI.

#### 4.3.2.9 Altura das plantas

A altura das plantas foi ajustada à equação de Richards (Equação 4.9) por esta representar bem o comportamento desta variável no campo. Os parâmetros utilizados foram os do Quadro 4.11, para 1997/98, e os do Quadro 4.12 para 1998/99.

No ano de 1997/98, a cultura apresentou o mesmo comportamento para todos os tratamentos, embora ISFV apresentasse uma tendência para maior alongação, no início do ciclo (Figura 4.23). Todos os tratamentos foram iguais entre si pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000), a 5% de probabilidade.

Em 1998/99, o tratamento ISFV diferenciou-se dos demais apresentando maior altura de plantas, durante todo o período. Neste ano, devido ao número de dados mais adequado, o modelo de Richards ajustou-se melhor e representou satisfatoriamente o comportamento da cultura no campo, quanto a esta variável (Figura 4.24).

Quadro 4.11 – Parâmetros da equação de Richards ajustada aos dados de altura de plantas dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	1712,8564	2,8223	0,0256	0,5033	0,987
	ISFV	444,2159	3,0550	0,0318	0,7952	0,991
	NIFV	762,2977	3,3111	0,0329	0,6912	0,996
	NIFF	547,0975	3,1768	0,0348	0,7229	0,996

Quadro 4.12 – Parâmetros da equação de Richards ajustada aos dados de altura de plantas dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	76,5788	6,3982	0,1339	2,2937	0,998
	ISFV	83,1770	6,3173	0,1406	2,3075	0,998
	NIFV	77,2472	6,9930	0,1383	2,6021	0,998
	NIFF	76,3436	7,7035	0,1593	2,8162	0,996

A escassez de dados, em 1997/98, pode ter sido responsável pelo não aparecimento de uma diferença clara entre os tratamentos.

$$Ap(t) = \frac{a}{(1 + e^{b - c \cdot t})^{\frac{1}{d}}} \quad (4.9)$$

em que

$Ap(t)$  = altura das plantas ao longo do ciclo da cultura (cm);

$t$  = tempo ou dias após a emergência (dias);

$a, b, c, d$  = parâmetros da equação (Quadros 4.11 e 4.12).

As alturas máximas, verificadas aos 58 DAE, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, em 1997/98, foram 80,6, 71,6, 75,6 e 77,5 cm, respectivamente. Em 1998/99, as alturas máximas para a mesma seqüência de tratamentos foram 76,2, 82,4, 75,5 e 76,1 cm, respectivamente, verificadas aos 70 DAE para IPTP e NIFV e, aos 62 DAE, para ISFV e NIFF.

Em geral, pode-se dizer que o estresse hídrico na fase vegetativa fez com que as plantas apresentassem uma altura final menor, em relação aos outros tratamentos, e que o estresse por sombreamento ocasionou o estiolamento das plantas.

Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados por MELGES (1983), que verificou um alongamento das plantas com o aumento no grau de sombreamento, e com aqueles verificados por CONFALONE et al. (2001), que observaram redução na altura de plantas de soja sob estresse hídrico na fase de florescimento assim como por

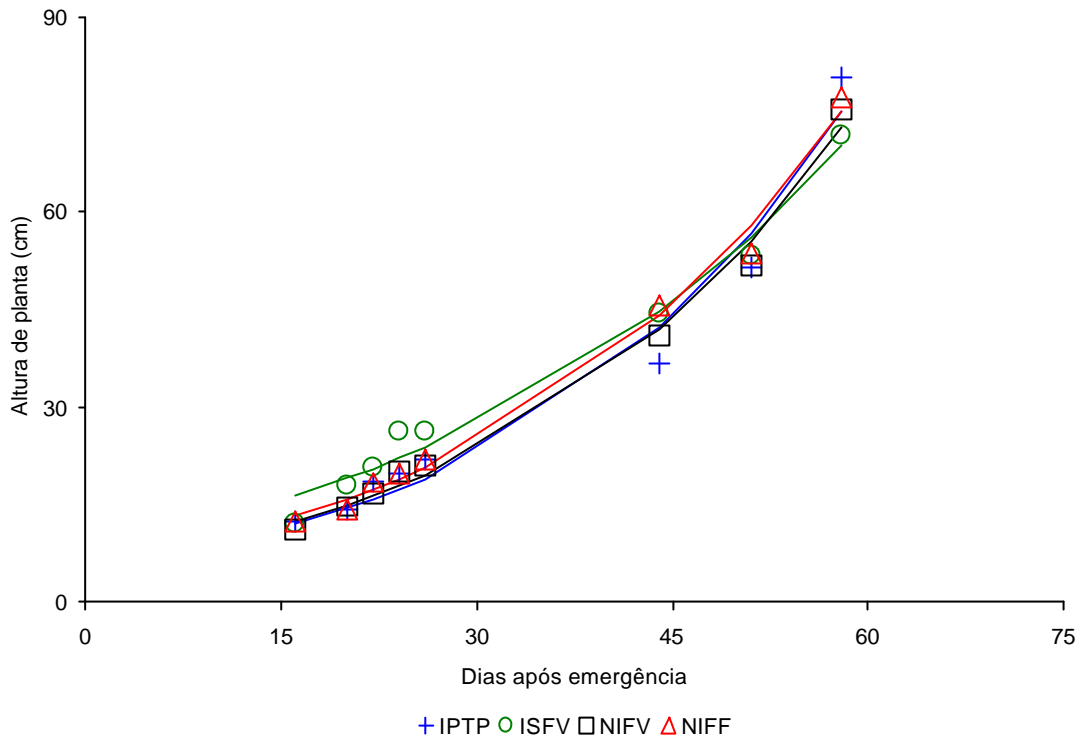


Figura 4.23 – Altura das plantas ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

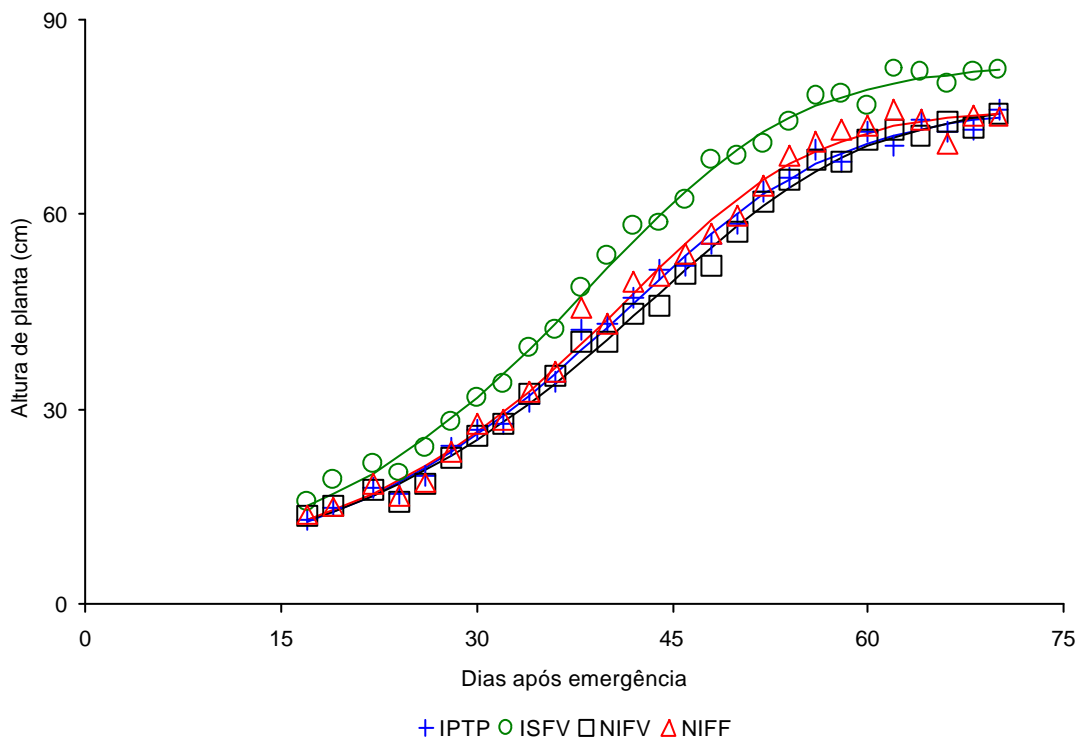


Figura 4.24 – Altura das plantas ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

HOOGENBOOM et al. (1987), que observaram altura final de plantas de soja, menores, quando submetidas a estresse hídrico.

A maior altura das plantas sombreadas foi, provavelmente, ocasionada pelo maior alongamento dos entrenós e pelo aumento da dominância apical (RYLE, 1961). A dominância apical pode ter sido devida ao decréscimo de fotoassimilados e ao aumento no nível de auxina (PHILLIPS, 1975).

#### 4.3.2.10 Altura de inserção da primeira vagem, produção e produtividade

A altura de inserção da primeira vagem é um parâmetro de grande importância no momento da colheita, uma vez que uma altura de inserção muito baixa poderá implicar em perdas de grãos, caso a altura de corte esteja acima do ponto de inserção. Assim, é desejável que a altura de inserção da primeira vagem, a partir do ponto proximal, seja em torno de 12 a 15 cm.

Nos ensaios realizados com a variedade cultivada de soja Capinópolis, a altura de inserção da primeira vagem variou, em média, de 11 a 18 cm, sendo que, no ano de 1997/98, houve uma variação maior em todos os tratamentos, em relação ao ensaio de 1998/99 (Quadro 4.13). Em média, a altura de inserção da primeira vagem foi de 15 cm, altura esta que está dentro do desejável, já que as colheitadeiras modernas podem colher à altura de até dez centímetros do solo, desde que este tenha sido devidamente preparado. Estes resultados estão de acordo com CONFALONE et al. (2001), que verificaram a altura de inserção da primeira vagem variando entre 13,4 a 17,1 cm.

Quadro 4.13 – Altura de inserção da primeira vagem nos ensaios, realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Altura inserção primeira vagem (cm)	DP (cm)
1997/98	IPTP	13	8
	ISFV	11	7
	NIFV	18	10
	NIFF	17	7
1998/99	IPTP	14	4
	ISFV	17	3
	NIFV	12	3
	NIFF	13	3

Essa maior variação, verificada em 1997/98, pode ter sido devida ao ambiente de maior estresse ocorrido naquele ano (Capítulo 3), uma vez que a maior variação ocorreu no tratamento NIFV, o qual esteve sem irrigação na fase vegetativa.

No campo, fez-se a contagem do número de flores e vagens por planta. Em 1997/98, foram feitas três contagens para flores e duas para vagens, enquanto em 1998/99 foram feitas 17 contagens para flores e nove contagens para vagens. As médias das somas totais são mostradas no Quadro 4.14.

IPTP apresentou em média, 14 flores em 1997/98 contra 30 no segundo ensaio e 44 vagens em 1997/98 contra 42 no ano seguinte. ISFV apresentou, em média, 13 flores por planta em 1997/98 contra 16 em 1998/99, e 20 vagens em 1997/98 contra 20 em 1998/99. NIFV apresentou, em média, 13 flores por planta em 1997/98 contra 32 em 1998/99, e 42 vagens em 1997/98 contra 46 em 1998/99, enquanto NIFF mostra uma média de dez flores, em 1997/98, contra 24 em 1998/99 e 33 vagens em 1997/98 contra 39 vagens em 1998/99. Todos os tratamentos, com exceção de ISFV, apresentaram número médio de vagens superior ao encontrado por MELGES (1983), que encontrou valores variando de 21,64 a 32,2 vagens por planta.

Analisando as médias em cada amostragem, verifica-se que não houve diferença no número médio de vagens, entre os dois ensaios, e a diferença no número de flores entre 1997/98 e 1998/99 pode ser devida à amostragem que, em 1997/98, foi menor.

Entre tratamentos, observa-se que, no ensaio de 1997/98, o maior número de vagens ocorreu no IPTP, seguindo-se o NIFV, NIFF e finalmente o ISFV. Nesse ano, o NIFF apresentou, o menor número de flores, seguido em ordem crescente por NIFV, ISFV e IPTP. Estes resultados para flores estão de acordo com os encontrados por PEREIRA (1998).

Quadro 4.14 – Número acumulado de flores e vagens nos ensaios, realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Característica	IPTP	DP	ISFV	DP	NIFV	DP	NIFF	DP
1997/98	Flores	41	9	38	11	38	5	31	6
	Vagens	88	52	40	14	84	22	65	10
1998/99	Flores	504	140	265	10	538	10	410	20
	Vagens	378	199	182	7	410	33	352	47

Em 1998/99, com a amostragem mais representativa, NIFV obteve uma maior produção tanto de flores como de vagens, seguido de IPTP, NIFF e ISFV.

Nos dois ensaios, ISFV ficou com a pior performance e NIFV apresentou resultados muito positivos, próximos (1997/98) e até superiores (1998/99) a IPTP.

A produção de vagens e grãos e o número de grãos por vagem (Quadro 4.15), com a densidade de plantas variando em torno de 20 plantas por metro quadrado, mostraram que o estresse na fase de florescimento afetou o número final de vagens por planta. NIFF apresentou o menor número de vagens, em 1997/98, e o segundo menor número de vagens por planta em 1998/99, embora, em 1997/98, tenha enchido, melhor, as vagens, apresentando 1,92 grão por vagem. Em 1997/98, IPTP apresentou o maior número de vagens e o pior desempenho no enchimento dessas vagens, com 1,78 grão por vagem. Em 1997/98, talvez favorecido pela baixa densidade de plantas, ISFV apresentou um número alto de vagens, por planta, mas um fraco desempenho no enchimento dessas vagens, com 1,80 grão por vagem. Neste primeiro ensaio, NIFV apresentou um número de vagens superior somente a NIFF, mas uma excelente capacidade de enchimento de vagens, com 1,93 grão por vagem.

O ano de 1998/99 mostrou que o estresse hídrico, na fase vegetativa, realmente favorece a cultura. NIFV apresentou número de vagens semelhante a IPTP e uma maior eficiência no enchimento dessas vagens, mostrando maior número de grãos por planta e um maior número de grãos por vagem. Neste segundo ensaio, ISFV apresentou o pior desempenho, com o menor número de vagens e grãos, por planta, apesar do bom enchimento de vagens, que foi superior a IPTP e NIFF. NIFF apresentou problemas tanto na produção de vagens como no enchimento dessas vagens, que foi o pior desempenho, com somente 1,58 gr vg<sup>-1</sup>.

Os valores do número de vagens, nos tratamentos IPTP e NIFV, são superiores aos observados por PEREIRA (1998), trabalhando com esta mesma variedade cultivada de soja. Naquela época, IPTP e NIFV apresentaram 74 e 80 vagens por planta. NIFF apresentou 64 vagens por planta, número este igual ao encontrado no presente estudo, no ano de 1998/99, e um pouco inferior àquele obtido no ensaio de 1997/98. Comparando ISFV deste estudo, com o tratamento NITP (não-irrigado durante todo o período) de PEREIRA (1998), ISFV apresentou um valor maior que NITP, em 1997/98, e um valor menor que NITP, em 1998/99. NITP apresentou 53 vagens por planta.

Quadro 4.15 – Densidade de plantas ( $\text{pl m}^{-2}$ ), número final de vagens por planta ( $\text{vg pl}^{-1}$ ), número final de grãos por planta ( $\text{gr pl}^{-1}$ ) e número final de grãos por vagem ( $\text{gr vg}^{-1}$ ) nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Pl $\text{m}^{-2}$	DP	Vg $\text{pl}^{-1}$	DP	gr $\text{pl}^{-1}$	DP	gr $\text{vg}^{-1}$	DP
1997/98	IPTP	21	5,8	99	45	174	71	1,78	0,12
	ISFV	17	5,3	92	46	167	85	1,80	0,15
	NIFV	20	4,3	83	28	161	58	1,93	0,12
	NIFF	21	4,6	69	22	134	44	1,92	0,13
1998/99	IPTP	22	4,3	99	51	164	99	1,61	0,18
	ISFV	20	3,2	48	20	80	40	1,64	0,18
	NIFV	19	4,5	99	40	174	76	1,74	0,15
	NIFF	20	4,0	64	28	100	41	1,58	0,14

O número de grãos por planta, encontrados em 1995/96 por PEREIRA (1998), foi de 130 para IPTP, 147 para NIFV e 107 para NIFF, valores estes inferiores aos verificados no presente estudo, embora, em 1998/99, NIFF tenha apresentado 100 grãos por planta.

Analisando a percentagem de vagens de zero a três grãos em cada tratamento, observou-se que no ano de 1997/98 houve uma percentagem menor de vagens vazias e uma predominância, de vagens de dois grãos. Essas também predominaram em 1998/99, mas houve uma diminuição destas e um aumento na percentagem de vagens de um grão e de vagens vazias (Quadro 4.16).

Entre os tratamentos, a maior percentagem de vagens vazias foi apresentada por IPTP, em 1997/98, e por NIFF em 1998/99. NIFV apresentou uma percentagem de vagens com dois e três grãos, nos dois ensaios, superior aos demais tratamentos.

No ensaio de 1997/98, ISFV apresentou percentagens de vagens bem próximas a IPTP, enquanto no ensaio de 1998/99, apresentou uma percentagem de vagens vazias menor do que NIFV, embora tenha tido um aumento na percentagem de vagens com um grão e uma diminuição na percentagem de vagens com três grãos.

Portanto, o estresse na fase de florescimento afetou o enchimento de vagens no segundo ensaio, mas não no primeiro. NIFV não foi afetado em nenhum dos dois experimentos. IPTP e ISFV foram os tratamentos que mais apresentaram problemas no enchimento de vagens.

Quadro 4.16 – Percentagem de vagens com zero grão, um grão, dois grãos e três grãos nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados nas estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	% Vagens			
		0 grão	1 grão	2 grãos	3 grãos
1997/98	IPTP	5,6440	19,5496	65,7897	9,0168
	ISFV	4,5957	20,3055	65,6879	9,4109
	NIFV	2,2236	14,4282	71,3512	11,9971
	NIFF	1,8796	15,4247	71,1249	11,5708
1998/99	IPTP	11,0817	24,0572	56,6914	8,1697
	ISFV	8,5388	24,7640	61,3982	5,2989
	NIFV	9,2841	18,1253	61,7217	10,8689
	NIFF	13,3293	22,9872	56,5457	7,1378

O fato de IPTP e ISFV terem, apresentado altas percentagens de vagens vazias e com um grão pode ser explicado, em IPTP, pelo fato de essas vagens estarem localizadas nas axilas de folhas muito sombreadas, que não realizaram fotossíntese suficiente para supri-las, o que indica que o alto IAF prejudicou o desempenho da cultura que possuía um potencial muito superior, mostrando que a estrutura do dossel não permitiu suficiente penetração da radiação solar no dossel. No caso de ISFV, as folhas possivelmente não tenham se recuperado do estresse.

Em 1998/99, NIFF apresentou diminuições nas percentagens de vagens de três e dois grãos, devido ao estresse hídrico sofrido na fase de florescimento, o qual repercutiu na área foliar, levando a uma forte queda de folhas e, conseqüentemente, diminuindo a capacidade fotossintética, que não conseguiu atender nem às vagens que a cultura conseguiu reter.

NIFV mostrou que uma menor área foliar permite melhor penetração da radiação solar, que eleva o rendimento fotossintético de todo o dossel e implica em melhor enchimento de vagens e, conseqüentemente, maior produtividade de grãos.

A massa de 100 grãos (Quadro 4.17) mostrou que, no ensaio de 1997/98, ISFV apresentou a variação maior e valor médio menor, o que caracteriza que seu aparelho fotossintético não foi suficiente para atender à demanda do dreno. NIFF apresentou maior massa de 100 grãos, demonstrando uma boa recuperação do estresse e um aparelho fotossintético eficiente, o mesmo ocorrendo com NIFV e IPTP.

Quadro 4.17 – Massa de 100 grãos em gramas, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Massa de 100 grãos (g)	Desvio-padrão (g)
1997/98	IPTP	15,760	1,824
	ISFV	14,402	2,113
	NIFV	15,940	1,798
	NIFF	16,379	1,352
1998/99	IPTP	17,310	3,483
	ISFV	13,961	1,767
	NIFV	17,264	2,042
	NIFF	15,911	1,870

A mesma situação repetiu-se em 1998/99, demonstrando que ISFV teve seu aparato fotossintético comprometido pelo estresse sofrido, pois apresentou um valor para massa de 100 grãos mais baixo, até mesmo que o do ensaio anterior. NIFF apresentou valores menores que IPTP e NIFV. Entre IPTP e NIFV, os valores foram bem próximos, embora a variação em IPTP seja maior, mostrando que NIFV atingiu um enchimento de grãos mais uniforme.

Os valores de massa de 100 grãos foram superiores aos verificados por PEREIRA (1998).

A produtividade de grãos (Figura 4.25), nos dois experimentos, não variou nos tratamentos IPTP e NIFV, embora em ambos a variação tenha sido maior em 1998/99. NIFF e ISFV diminuíram suas produtividades, em 1998/99, em relação a 1997/98.

ISFV e NIFF apresentaram as produtividades menores, em relação a IPTP e NIFV. ISFV sempre apresentou valores de produtividade menores que NIFF.

A principal causa da queda em produtividade foi o número de vagens por planta e o pouco enchimento dos grãos, no caso do ISFV. NIFF teve como principal responsável pela queda na produtividade o número de vagens por planta no primeiro ensaio, e no segundo ensaio além do número de vagens o enchimento de grãos.

PEREIRA (1998) encontrou 3,3 toneladas por hectare para IPTP, 3,51 toneladas por hectare para NIFV e 2,66 toneladas por hectare para NIFF, valores estes inferiores aos verificados no presente estudo (Figura 4.25 e Quadro 1A).

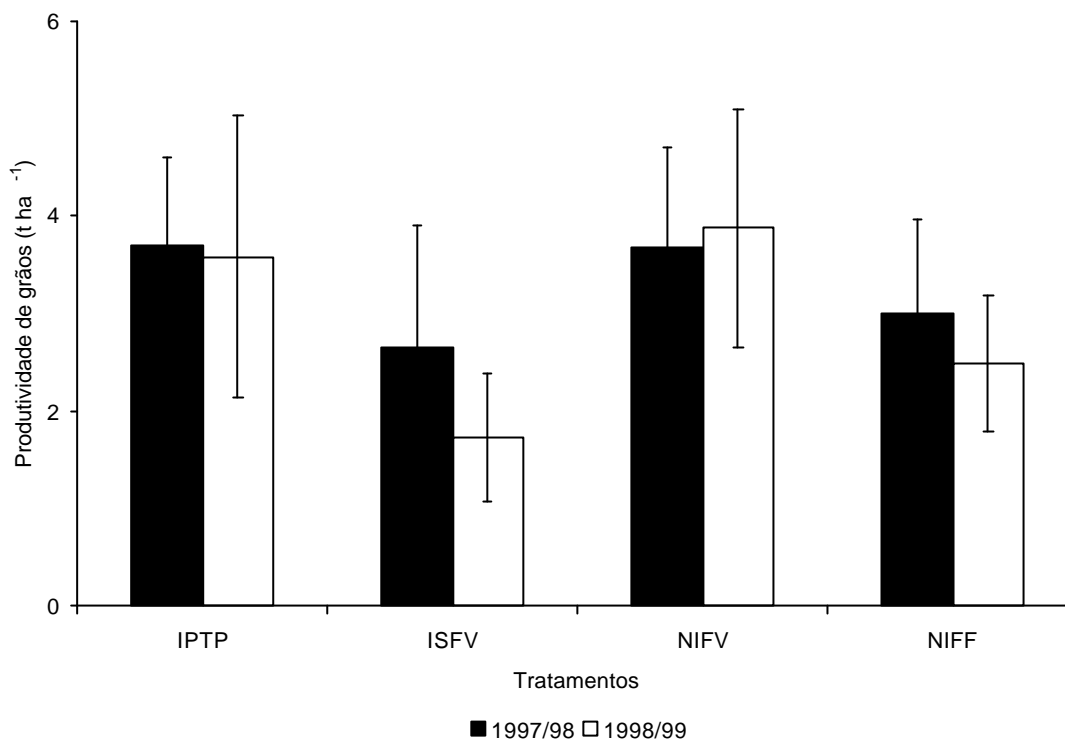


Figura 4.25 – Produtividade de grãos em toneladas por hectare, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG.

A produtividade em ISFV foi diminuída em 28 e 52 % em relação a IPTP, nos anos de 1997/98 e 1998/99, respectivamente. NIFF apresentou diminuições de 19 e 31% nos mesmos ensaios. Estes resultados de NIFF estão de acordo com LAOHASIRIWONG (1986) que, trabalhando com quatro variedades cultivadas de soja, submetidas a estresse hídrico no período reprodutivo, em Nova Zelândia, verificou que a deficiência hídrica na fase de florescimento reduziu em 48 % a produtividade da cultura. NIFV apresentou rendimento na produtividade de grãos semelhante a IPTP.

A produtividade apresentou correlação maior com a duração da área foliar (Figura 4.26) que com a duração da biomassa (Figura 4.27). Os tratamentos IPTP e NIFF apresentaram correlações mais baixas. NIFV e ISFV apresentaram maior correlação.

Isso ocorreu devido à que a produção de grãos da cultura de soja não se deve somente à quantidade de folhas, mas principalmente à efetividade da área foliar, ou seja, se a cultura produz muita área foliar também tem muito sombreamento, o que diminui a efetividade do dossel, além do que estresse ocorrido em fases importantes da cultura, mesmo que ele disponha de bom aparato fotossintético, poderá levar a quedas na produção (germinação e florescimento).

Apesar de não ter havido uma correlação semelhante entre LAD e produtividade, em todos os tratamentos, e esta ser mais acentuada nos tratamentos estressados na fase vegetativa, o tamanho da máquina fotossintética implica diretamente na produtividade.

Houve correlação positiva tanto entre produtividade e BDM quanto entre produtividade e LAD, em todos os tratamentos (Figura 4.25), embora a correlação entre produtividade e BDM tenha sido menor que a correlação entre produtividade e LAD.

Estudos sobre esta correlação têm sido pouco realizados (KVÌT et al., 1969; KVÌT & ONDOK, 1971). Embora esta correlação possa parecer óbvia, estresses severos em determinados períodos críticos do ciclo da cultura podem interferir no resultado.

A uniformidade dos grãos foi melhor no tratamento NIFV e pior no tratamento ISFV (Figura 27A). Isto comprova que o estresse hídrico na fase vegetativa permitiu uma maior expansão radicular, o que garantiu uma maior captura de nutrientes e água, atendendo melhor ao aparelho fotossintético, que também se apresentou com melhor estrutura, permitindo maior penetração da luz solar. Isto deixa transparecer que o cultivo em um solo de perfil mais favorável ao desenvolvimento radicular pode permitir também a obtenção de maiores produtividades.

#### **4.4 Resumo e conclusões**

O desenvolvimento, o crescimento e a produtividade da cultura de soja [*Glycine max* (L.) Merrill] variedade cultivada Capinópolis, foram estudados sob estresse hídrico na fase vegetativa e estresse hídrico na fase de florescimento, sob sombreamento na fase vegetativa e sem nenhum estresse em condições de campo, durante dois anos consecutivos em Viçosa-MG.

As amostragens foram realizadas, a cada dois dias, para verificação do acúmulo de matéria seca e índice de área foliar no início da fase vegetativa e, após o período inicial, a cada 15 dias no ensaio de 1997/98, e a cada sete dias no ensaio de 1998/99.

Os componentes de produção, isto é, número de vagens por planta, grãos por planta, número de grãos por vagem e percentagem de vagens com zero, um, dois e três grãos foram verificados em uma única amostragem ao final do ciclo da cultura. A produtividade final e massa de 100 grãos foram estimadas, a partir da amostragem de 10 m por unidade experimental. A análise de crescimento foi feita, utilizando-se o programa CurveExpert 1.2.

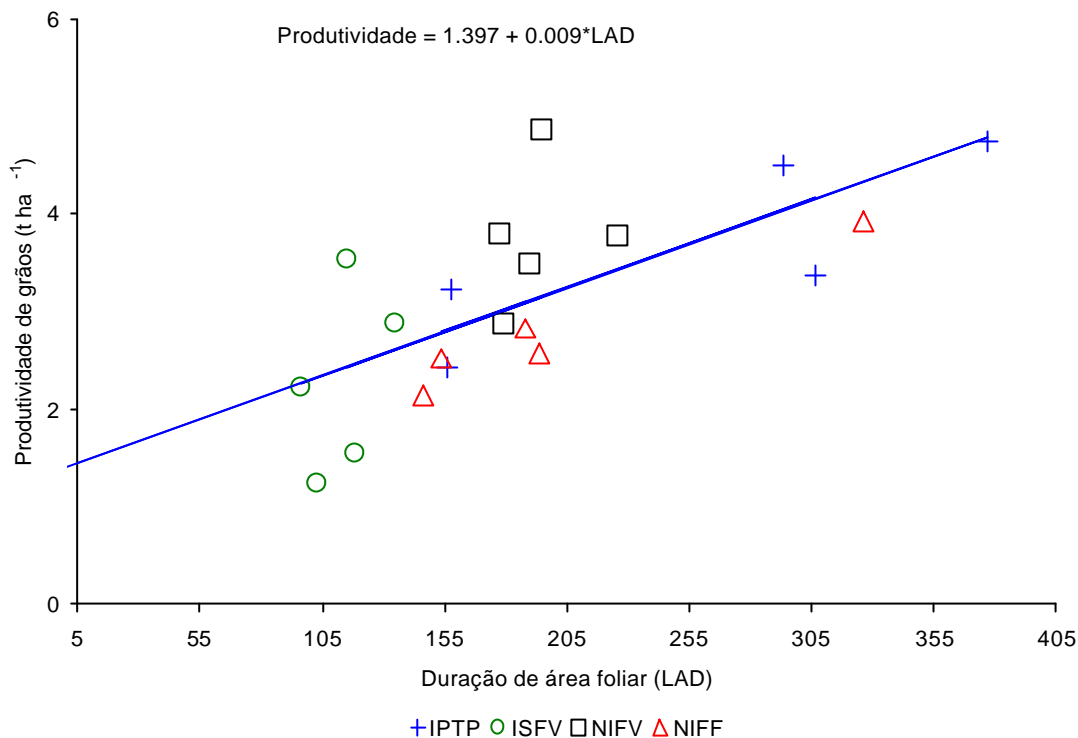


Figura 4.26 – Produtividade de grãos em toneladas por hectare *versus* duração da área foliar, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG.

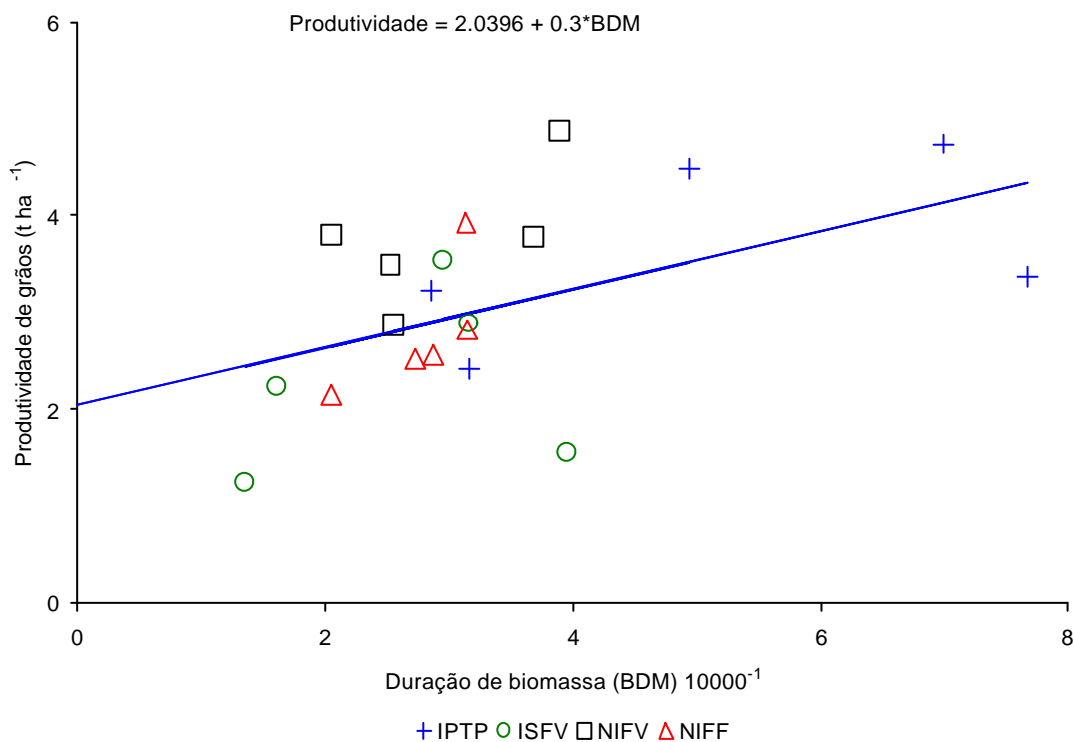


Figura 4.27 – Produtividade de grãos em toneladas por hectare *versus* duração da biomassa, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG.

A cultura não apresentou mudanças significativas entre os tratamentos, para nenhuma das características analisadas, exceto para produtividade de grãos e massa de 100 grãos. Entretanto, mostrou tendências claras de redução na área foliar, no acúmulo de matéria seca e na massa de 100 grãos, no tratamento ISFV. O estresse hídrico teve efeitos maiores no número de vagens por planta.

O estresse hídrico na fase vegetativa aumentou a capacidade de captura de recursos da cultura, permitindo obter uma produtividade de grãos tão elevada quanto aquela do tratamento irrigado por todo o período.

O estresse hídrico na fase de florescimento foi muito prejudicial à cultura, culminando com uma redução na produtividade, em relação a IPTP da ordem de 19 % em 1997/98 e 31 % em 1998/99.

O estresse por sombreamento na fase vegetativa foi ainda mais prejudicial à cultura, reduzindo a produtividade final de grãos em 28 %, em 1997/98, e em 52 % em 1998/99, em relação a IPTP.

A variedade cultivada Capinópolis mostrou ótimo desempenho com o estresse hídrico na fase vegetativa, mas diminuições na produtividade, com o estresse na fase de florescimento, e com o estresse por sombreamento na fase vegetativa.

#### **4.5 Sugestões para estudos futuros**

Um estudo de grande importância na modelagem de crescimento de culturas é a determinação da temperatura base ( $T_b$ ). Para obtenção deste parâmetro, são necessárias observações cobrindo uma faixa de combinações de diferentes fotoperíodos e temperaturas, o que pode ser conseguido com o plantio em diferentes épocas e, ou diferentes locais e, ou ambiente controlado. Os dados para um genótipo particular geralmente são obtidos de um número de locais, cada um apresentando dados de temperatura e fotoperíodo diferentes.

O mesmo procedimento citado acima poderá ser utilizado para planejamento de épocas de semeadura objetivando a obtenção da ocorrência de florescimento em datas onde o dossel se apresentasse com um índice de área foliar previamente planejado.

Outro ponto importante a ser verificado seria a possibilidade de tornar o dossel desta cultura tão mais ereto quanto maior a quantidade de folhas produzidas, ou verificar a densidade ótima para cada situação, que levasse à maximização da produtividade de grãos.

## 5. PARTIÇÃO DE FOTOASSIMILADOS

### 5.1 Introdução

Em muitas culturas, a produção de partes economicamente importantes depende da translocação de fotoassimilados, das folhas ou outros tecidos fotossintéticos. As raízes, caule, folhas jovens e frutos dependem desses assimilados que, em sua maioria são produzidos pelas folhas completamente expandidas. Em geral, os assimilados distribuem-se entre os diversos drenos, por meio de uma rota coordenada, de acordo com as mudanças no requerimento de cada um desses drenos, ao longo do ciclo da cultura (HAY & WALKER, 1989; COSTA, 1994).

### 5.2 Taxas de produção de matéria seca

As taxas de produção de matéria seca de raiz ( $C_R$ ), caule ( $C_C$ ), cotilédone ( $C_{CT}$ ), folha ( $C_F$ ), flor ( $C_{FL}$ ), vagem ( $C_V$ ) e grãos ( $C_G$ ) serão apresentadas a seguir. Todas as taxas de produção de matéria seca foram obtidas das derivadas das funções ajustadas aos dados originais. As funções ajustadas aos dados originais encontram-se nas Figuras de 13A a 26A.

As variações nas taxas de acúmulo de matéria seca das raízes, caule, folhas, vagens e grãos na cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF dos ensaios de 1997/98 e 1998/99 (Figura 5.1), mostraram que os tratamentos sob estresse na fase vegetativa (estresse hídrico e estresse por sombreamento) tiveram suas taxas de produção de matéria seca dos órgãos vegetativos raiz, caule e folhas afetadas negativamente; entretanto, os órgãos reprodutivos vagens e grãos foram afetados de

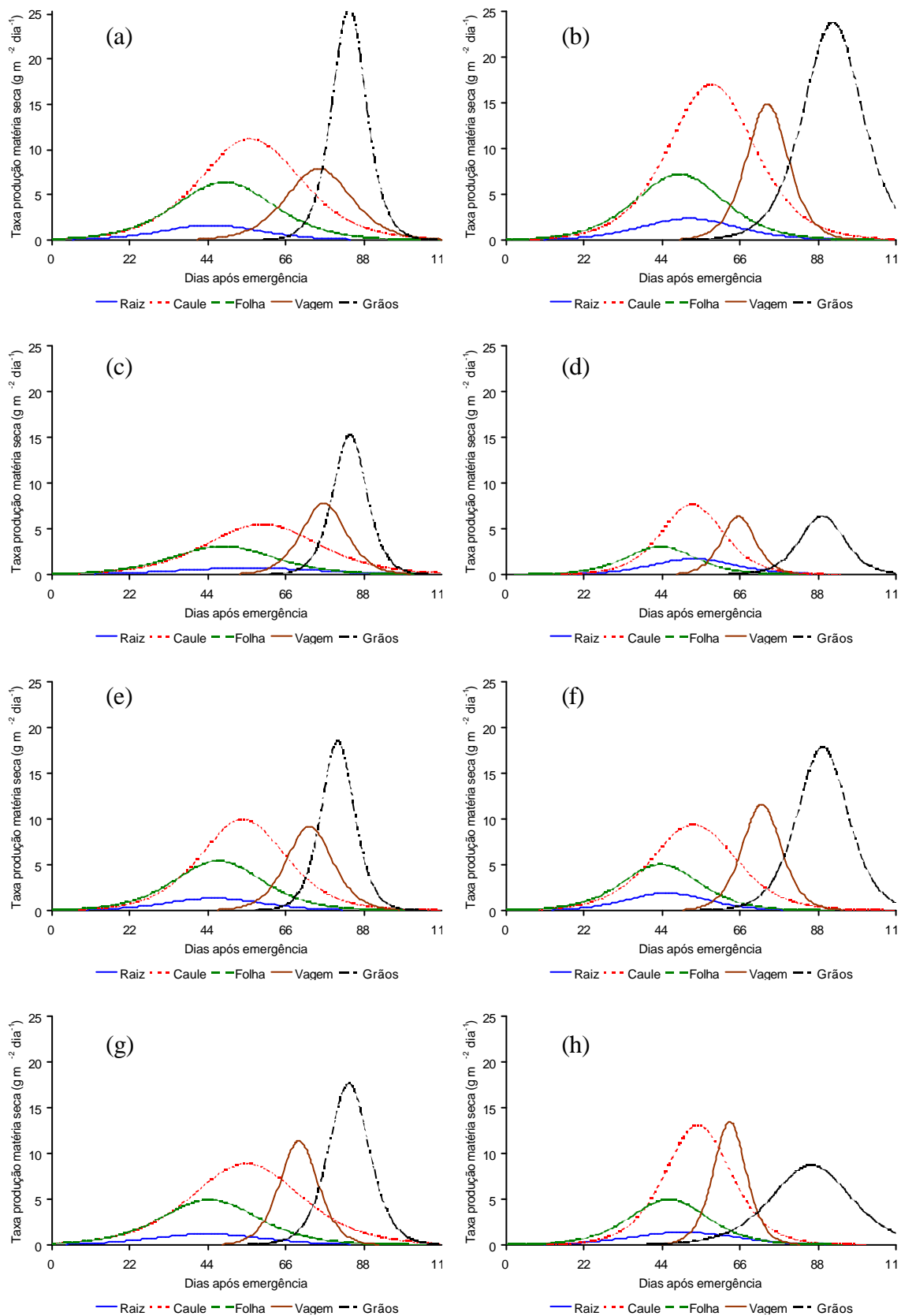


Figura 5.1 – Taxa de produção de matéria seca das partes vegetativa e reprodutiva da cultura de soja nos tratamentos ITPT, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [figuras (a), (c), (e) e (g) respectivamente] e 1998/99 [figuras (b), (d), (f) e (h) respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

forma diferenciada. Enquanto a taxa de produção de vagens foi afetada, somente, no tratamento sombreado na fase vegetativa, demonstrando que não houve recuperação após a retirada do estresse, a taxa de produção de matéria seca de grãos foi afetada nos tratamentos estressados na fase vegetativa, por falta de luz (ISFV) e na fase de florescimento, por falta de água (NIFF). No tratamento estressado por falta de água na fase vegetativa (NIFV), as taxas de produção de matéria seca de vagens e grãos não foram afetadas, embora, estas tenham sido inferiores, no ensaio de 1998/99, às taxas de produção de vagens e grãos apresentados por IPTP.

A taxa de produção de matéria seca de todos os órgãos vegetativos manteve-se crescente até meados da fase de florescimento, sendo que a raiz atingiu, em média, suas taxas máximas de crescimento mais ou menos aos 54 DAE, em 1997/98, e mais ou menos aos 59 DAE em 1998/99. A folha atingiu suas taxas máximas de crescimento mais ou menos aos 55 DAE, em 1997/98, e mais ou menos aos 57 DAE em 1998/99, enquanto o caule atingiu essas taxas máximas mais ou menos aos 61 DAE, em 1997/98, e mais ou menos aos 62 DAE em 1998/99.

A taxa máxima de produção de matéria seca nas vagens ocorreu já na fase de enchimento de grãos, mais ou menos aos 74 DAE, em 1997/98, e aos 69 DAE em 1998/99.

Os grãos atingiram suas taxas máximas, nos meados da fase de enchimento de grãos, em torno dos 83 DAE, em 1997/98, e aproximadamente aos 89 DAE em 1998/99.

Os principais fatores responsáveis pela produção de matéria seca são a área foliar, a taxa fotossintética, a respiração e a radiação solar incidente, sob condições ambientais ótimas, ou seja, sem limitações de água, nutrientes, ausência de pragas, doenças e plantas daninhas. Dessa forma, a principal característica ambiental que influencia a produtividade é a radiação solar (MONTEITH, 1965).

O acúmulo de matéria seca de raízes, caule, folhas, vagens e grãos (Figuras 13A a 26A), assim como a matéria seca total (Figuras 4.1 e 4.2), apresentou tendência logística em todos os tratamentos analisados neste estudo.

Há indicações de que a redução da taxa respiratória seja o fator primário de ajuste ao sombreamento, relacionada com a radiação solar e temperatura foliar. A respiração mitocondrial ou oxidativa (escura) ( $R_D$ ) pode ser dividida em dois componentes, um associado à atividade de manutenção ( $R_M$ ) e o outro associado ao crescimento ( $R_G$ ). McCREE (1970) desenvolveu uma equação, a partir de dados

experimentais obtidos por troca gasosa, para plantas inteiras de trevo branco,  $R_D = k P_G + c W$ , em que  $P_G$  é a fotossíntese bruta,  $W$  a matéria seca da planta e  $k$  e  $c$  são constantes de ajustamento da equação. PENNING de VRIES (1972, 1975) acoplou  $R_G$  à taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ) e  $R_M$  ao tamanho da biomassa ( $W$ ) (de WIT, 1970; HESKETH et al., 1971), o que originou a equação  $R_D = G_R (dW/dt) + M_R W$ , sendo  $G_R$  e  $M_R$  coeficientes respiratórios relacionados ao crescimento e à manutenção, respectivamente.

Com base nestes modelos, observa-se que ocorreu, forçosamente, redução na taxa respiratória das plantas sombreadas, porque  $R_M$  está diretamente associado a  $W_t$  e  $R_G$  a  $C_t$  ou à fotossíntese bruta ( $P_G$ ). Como  $W_t$  e  $C_t$  foram menores nas plantas sombreadas, conseqüentemente as taxas respiratórias devem ter decrescido. Em geral, ocorre decréscimo da respiração com a redução nos níveis de luz (YAMAGUCHI, 1978). A respiração decresce, possivelmente, em razão da redução no teor de assimilados, bem como de decréscimo na temperatura das plantas sombreadas e, ou da redução na atividade da malato-desidrogenase (CROOKSTON et al., 1975).

O estresse hídrico conduz ao fechamento estomático, reduzindo a fotossíntese líquida (BOYER, 1970) e a transpiração (MILLAR & GARDNER, 1972). Contudo, o fechamento estomático reduz, mais intensamente o crescimento.

A seguir, serão discutidos os resultados comparativos entre cada órgão da planta, nos dois ensaios.

### **5.2.1 Taxa de produção de matéria seca de raízes**

O modelo logístico foi utilizado por representar, biologicamente bem, o comportamento da cultura no campo e por ter-se ajustado bem aos dados de matéria seca radicular, nos dois ensaios. O modelo ajustou-se menos aos dados do tratamento NIFF, tanto em 1997/98 como em 1998/99. Nos demais tratamentos, o ajuste foi melhor em 1997/98 (Quadro 5.1), com exceção para NIFV (Figuras 13A e 14A).

A equação logística (Equação 4.1) ajustada aos dados de matéria seca das raízes, nos ensaios de 1997/98 e 1998/99, foi derivada (Equação 4.2) para obtenção da taxa de produção de matéria seca das raízes. Os parâmetros utilizados foram os apresentados no Quadro 5.1.

As taxas de produção de matéria seca radicular, em 1997/98, foram mais elevadas no início do ciclo do que aquelas ocorridas em 1998/99, no mesmo período, em todos os tratamentos. Em 1997/98, IPTP apresentou maior taxa do início até aos 38

Quadro 5.1 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca de raiz nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	63,8524	114,4164	0,1051	0,999
	ISFV	40,6943	56,6100	0,0726	0,991
	NIFV	51,2363	141,6229	0,1080	0,980
	NIFF	53,1571	58,5971	0,0926	0,981
1998/99	IPTP	88,2985	261,5776	0,1078	0,983
	ISFV	56,4985	713,4103	0,1240	0,986
	NIFV	60,5117	351,6303	0,1290	0,986
	NIFF	57,8187	144,6758	0,0992	0,973

DAE; ISFV até aos 29 DAE e de 73 DAE até o final; NIFV até aos 24 DAE e de 64 DAE até o final; e NIFF até aos 41 DAE, ou seja, em 1997/98, o IPTP e NIFF apresentaram maior taxa de crescimento radicular, apenas no início do ciclo, enquanto ISFV e NIFV apresentaram maior taxa de crescimento radicular também na fase de enchimento de grãos (Figuras 5.2 e 5.3).

Em 1997/98, as  $C_R$  foram máximas aos 45 DAE, para IPTP, com  $1,678 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 56 DAE, para ISFV, com  $0,739 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 46 DAE, para NIFV, com  $1,383 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , e aos 44 DAE, para NIFF, com  $1,231 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste ensaio, IPTP atingiu a maior taxa de produção radicular, seguido por NIFV, NIFF e ISFV (Figura 5.2).

No ano de 1998/99, as taxas máximas ocorreram aos 52 DAE, para IPTP, com  $2,379 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 53 DAE, para ISFV, com  $1,752 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 45 DAE, para NIFV, com  $1,950 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; e aos 50 DAE, para NIFF, com  $1,433 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste experimento, IPTP apresentou a maior  $C_R$ , seguido por NIFV, ISFV e NIFF.

A partir dos pontos máximos, as taxas declinaram até atingir valores próximos de zero.

Comparando os dois experimentos, observou-se, no ano de 1998/99, um aumento na  $C_R$  máxima, em relação a 1997/98, de 30% em IPTP, 58% em ISFV, 29% em NIFV e 14% em NIFF.

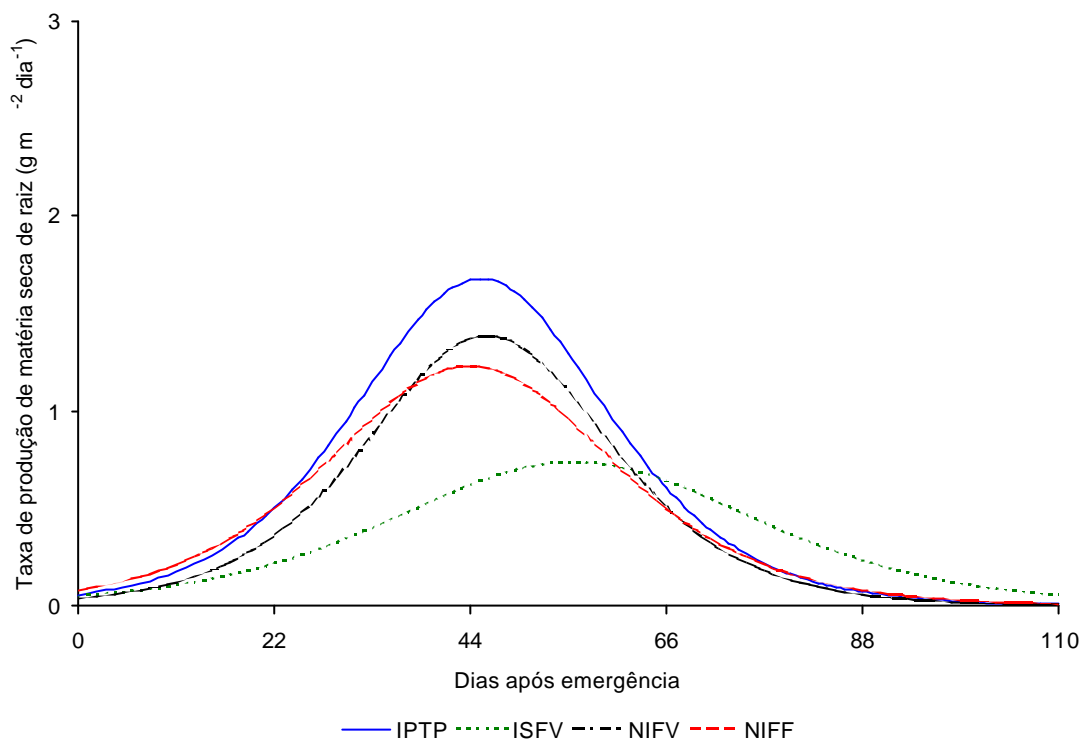


Figura 5.2 – Taxa de produção de matéria seca de raízes no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

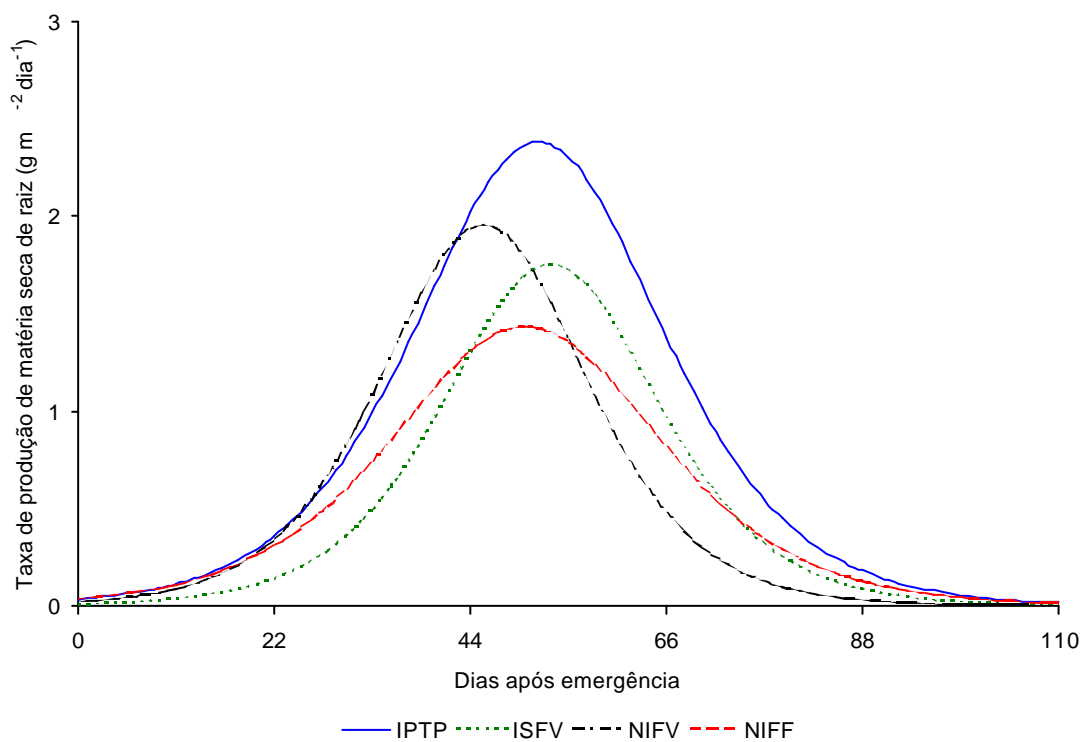


Figura 5.3 – Taxa de produção de matéria seca de raízes no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

No presente estudo, ao contrário do verificado por MELGES, (1983), as plantas do tratamento sombreado atingiram a taxa máxima de produção de matéria seca de raiz, sempre, após os outros tratamentos.

### 5.2.2 Taxa de produção de matéria seca de caule

À matéria seca de caule foi ajustada a equação logística (Equação 4.1) (Figura 15A e 16A).

Para caule, a equação logística ajustou-se bem, em todos os tratamentos do ensaio de 1997/98, apresentando um erro maior em NIFV. No ensaio de 1998/99, o pior ajuste foi para ISFV e todos apresentaram valores de  $r$  inferiores aos obtidos em 1997/98 (Quadro 5.2). Os valores elevados do erro, em 1998/99, foram devidos à ocorrência de maiores desvios nos pontos de valores mais elevados de MS de caule (Figura 15A e 16A).

Quadro 5.2 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca de caule nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	429,3336	344,2185	0,1044	0,999
	ISFV	236,2494	262,4470	0,0936	0,998
	NIFV	324,2651	776,2313	0,1235	0,988
	NIFF	371,6153	195,3989	0,0959	0,992
1998/99	IPTP	556,1197	1246,2879	0,1229	0,983
	ISFV	181,7501	7497,7371	0,1698	0,947
	NIFV	299,9075	777,7250	0,1257	0,979
	NIFF	329,3396	5684,5701	0,1594	0,959

A taxa de produção de matéria seca de caule foi obtida, da mesma forma que a taxa de produção de matéria seca radicular, ou seja, por meio da derivada da equação logística. Os parâmetros utilizados foram apresentados no Quadro 5.2.

Em 1997/98, IPTP apresentou  $C_C$  mais elevada, em relação a 1998/99, do início até aos 39 DAE e de 94 DAE até o final do ciclo. ISFV apresentou, em 1997/98, valores maiores que 1998/99, do início até 38 DAE e de 60 DAE até o final. NIFV apresentou

valores maiores do início até aos 30 DAE e de 41 DAE até o final do ciclo. NIFF também apresentou valores maiores do início até 43 DAE e de 65 DAE até o final do ciclo (Figura 5.4 e 5.5). Desta forma, em 1997/98, todos os tratamentos apresentaram períodos em que os valores eram maiores e períodos em que eram menores do que em 1998/99, sendo que os valores maiores apareceram no início do ciclo e na fase de enchimento de grãos, com exceção de IPTP, que apresentou valores maiores somente no início do ciclo.

Com relação à  $C_C$  máxima, em 1997/98, IPTP atingiu este valor aos 56 DAE, com  $11,204 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; ISFV atingiu  $C_C$  máximo aos 60 DAE, com  $5,524 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; NIFV, aos 54 DAE, com  $10,009 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e NIFF aos 55 DAE com  $8,912 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste ensaio, IPTP atingiu a maior taxa de produção de caule, seguido por NIFV, NIFF e ISFV.

No ano de 1998/99, as taxas máximas foram aos 58 DAE para IPTP, com  $17,081 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 53 DAE, para ISFV, com  $7,705 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 53 DAE, para NIFV, com  $9,426 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; e aos 54 DAE, para NIFF, com  $13,124 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste experimento, IPTP apresentou a maior  $C_C$  seguido por NIFF, NIFV e ISFV.

A partir dos pontos máximos, todos os valores declinaram até aproximar-se de zero.

Comparando os dois experimentos, no ano de 1998/99, observou-se um aumento na  $C_C$  máxima, em relação a 1997/98, de 34% em IPTP, 28% em ISFV, uma queda de 6% para NIFV e um aumento de 32% para NIFF.

MELGES (1983) verificou que as plantas com 30% de sombreamento atingiram as taxas máximas de acúmulo de matéria seca de caule uma semana após o tratamento a radiação plena, o que corrobora com o resultado obtido neste estudo, para o ensaio de 1997/98, e contrário ao de 1998/99.

### **5.2.3 Taxa de produção de matéria seca de cotilédones**

À matéria seca de cotilédone foi ajustada a equação logística (Equação 4.1) (Figura 17A e 18A), a qual ajustou-se melhor aos dados de 1997/98.

A taxa de produção de matéria seca dos cotilédones, ou melhor, a taxa de perda de matéria seca, foi obtida da derivada da função logística (Equação 4.2). Os parâmetros utilizados foram apresentados no Quadro 5.3.

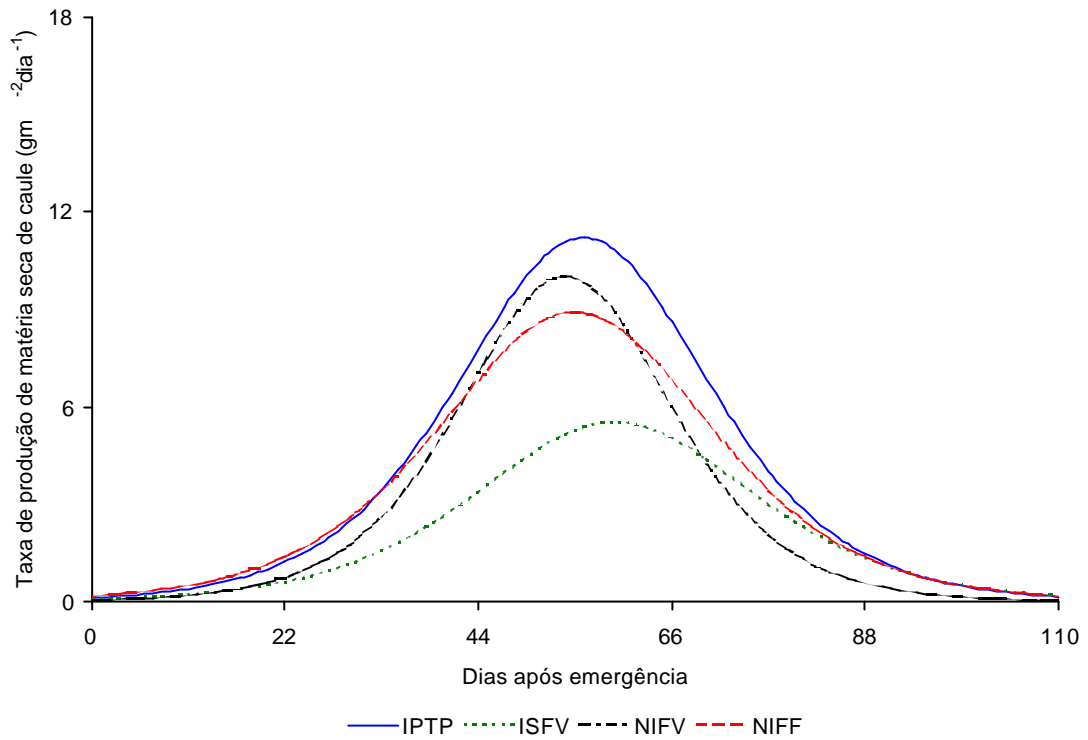


Figura 5.4 – Taxa de produção de matéria seca de caule no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

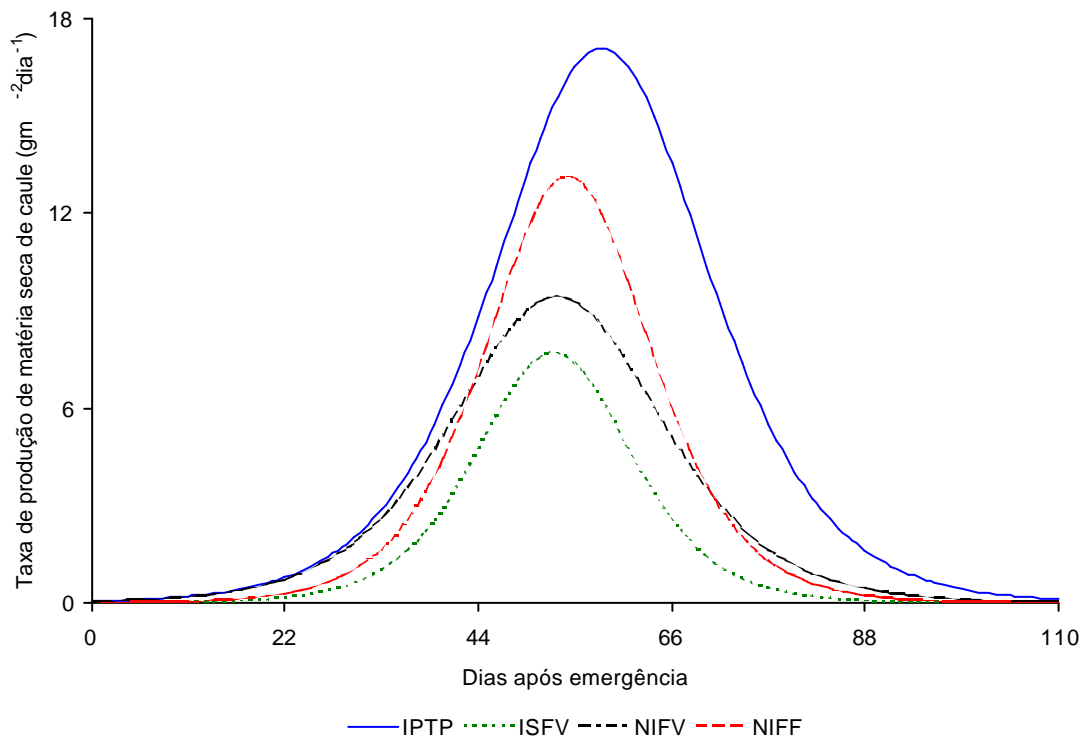


Figura 5.5 – Taxa de produção de matéria seca de caule no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

Quadro 5.3 – Parâmetros da equação logística ajustada aos dados de matéria seca de cotilédone nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	-4518334,0000	-1747478,2000	-0,1281	0,979
	ISFV	-1293015,9000	-610421,8900	-0,1219	0,975
	NIFV	-3290,6928	-1381,4821	-0,1157	0,982
	NIFF	-4449952,0000	-1664403,3000	-0,1272	0,978
1998/99	IPTP	-91577,4060	-59856,3690	-0,0902	0,847
	ISFV	-103186,3000	-67204,6920	-0,1053	0,860
	NIFV	-275974,0600	-193013,7600	-0,0987	0,850
	NIFF	-80306,1510	-57182,9510	-0,0929	0,843

O comportamento da taxa de perda de matéria seca pelos cotilédones foi semelhante, nos dois experimentos. Tanto em 1997/98 quanto em 1998/99 as maiores taxas ocorreram no início do ciclo, com tendência a diminuir (Figura 5.6 e 5.7).

Entre os dois experimentos, os resultados de 1997/98 oferecem maior confiabilidade devido à coleta ter sido iniciada no primeiro dia após a emergência, enquanto no ensaio de 1998/99 esta só ocorreu no quarto dia após a emergência. Por esta razão, a curva do comportamento da taxa de transferência de matéria seca, no ensaio de 1997/98, pode estar mais próxima à realidade. Entre os tratamentos, o comportamento é muito semelhante, sendo que, nos tratamentos estressados, a taxa foi menor em 1997/98. Em 1998/99, praticamente, não houve diferença. O comportamento geral da variação na matéria seca dos cotilédones está de acordo com o verificado por OOTA et al. (1953) e com PEREIRA (1998).

#### 5.2.4 Taxa de produção de matéria seca de folhas

À matéria seca de folhas foi ajustado o modelo logístico (Figura 19A e 20A). Como o ocorrido com os ajustes anteriores, os dados de 1997/98 permitiram um melhor ajuste em relação aos dados de 1998/99 (Quadro 5.4). Observou-se que o ajuste do modelo logístico à matéria seca de folhas foi pior, no ensaio de 1998/99, quando comparado com o ajuste deste à matéria seca de raiz, caule, vagens e grãos. Isto pode

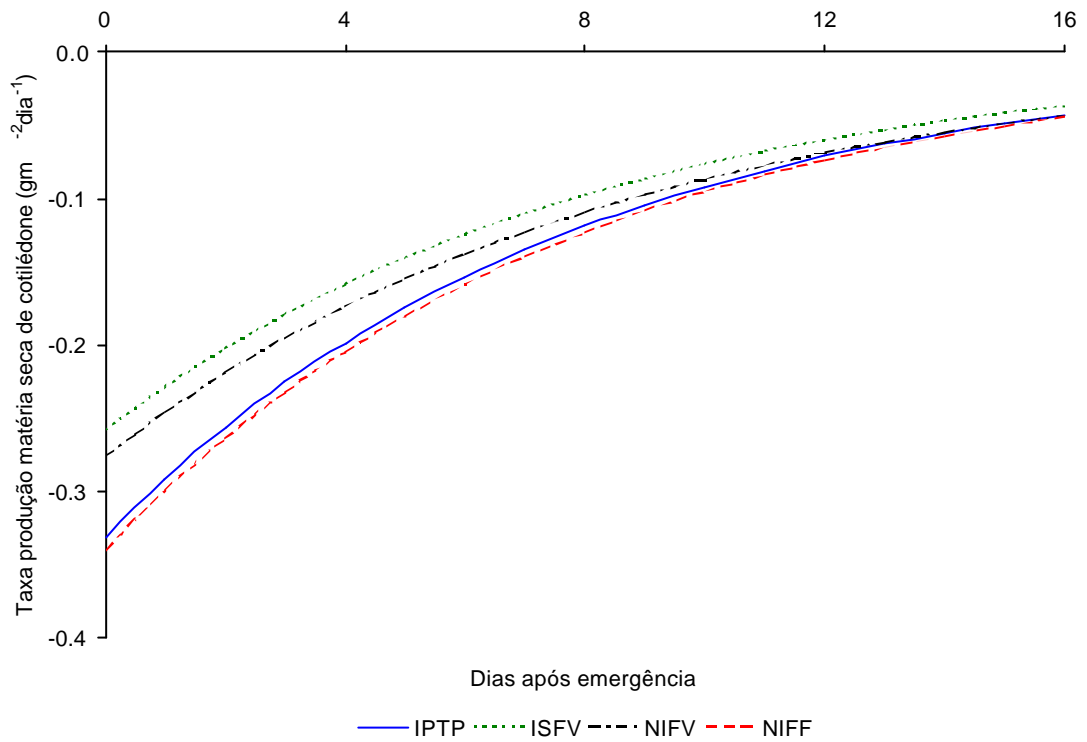


Figura 5.6 – Taxa de produção de matéria seca de cotilédones no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

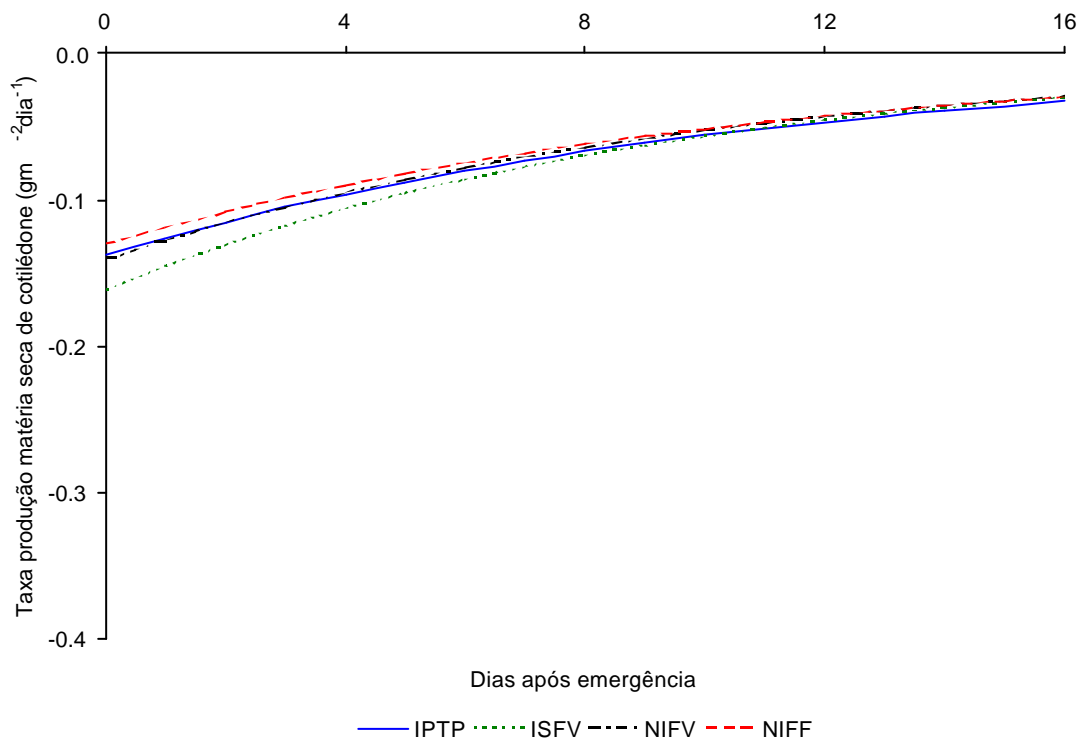


Figura 5.7 – Taxa de produção de matéria seca de cotilédones no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

Quadro 5.4 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca de folhas nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	239,1882	188,0880	0,1074	0,999
	ISFV	122,4497	138,0425	0,1020	0,997
	NIFV	183,9052	270,3163	0,1191	0,976
	NIFF	183,3460	122,8260	0,1081	0,994
1998/99	IPTP	243,3294	337,9319	0,1189	0,956
	ISFV	82,0474	685,0797	0,1499	0,831
	NIFV	150,0917	366,8349	0,1352	0,922
	NIFF	148,9064	489,9460	0,1348	0,871

ser devido ao número de amostragens, que permitiu detectar, com maior precisão a queda de folhas, influenciando a diminuição dos valores de matéria seca e, assim, o ajuste do modelo, uma vez que o modelo foi ajustado a todos os dados coletados (Figura 19A e 20A).

A taxa de produção de matéria seca de folhas foi obtida da derivada da equação logística (Equação 4.2). Os parâmetros utilizados são apresentados no Quadro 5.4.

Em 1997/98, IPTP apresentou taxas de produção de matéria seca superiores àquelas de 1998/99, do início do ciclo até aos 35 DAE e de 66 DAE até o final do ciclo. ISFV apresentou o mesmo comportamento, do início até 34 DAE e de 46 DAE até o final. NIFV foi superior do início do ciclo até aos 24 DAE e dos 42 DAE até o final do ciclo. NIFF foi superior do início até aos 44 DAE e de 53 DAE até o final do ciclo. Este comportamento é semelhante àquela da taxa de acúmulo de MS das outras partes estudadas (Figuras 5.8 e 5.9).

Em 1997/98, IPTP atingiu a  $C_F$  máxima aos 49 DAE, com  $6,423 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; ISFV atingiu  $C_F$  máximo, aos 48 DAE, com  $3,123 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; NIFV aos 47 DAE, com  $5,476 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e NIFF aos 45 DAE, com  $4,951 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste ensaio, IPTP atingiu a maior taxa de produção de folhas seguido por NIFV, NIFF e ISFV.

No ano de 1998/99, as taxas máximas ocorreram aos 49 DAE para IPTP, com  $7,230 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 44 DAE para ISFV e NIFV, com  $3,071$  e  $5,072 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ , respectivamente; e aos 46 DAE para NIFF com  $5,020 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste experimento, IPTP apresentou a maior  $C_F$ , seguido por NIFV, NIFF e ISFV.

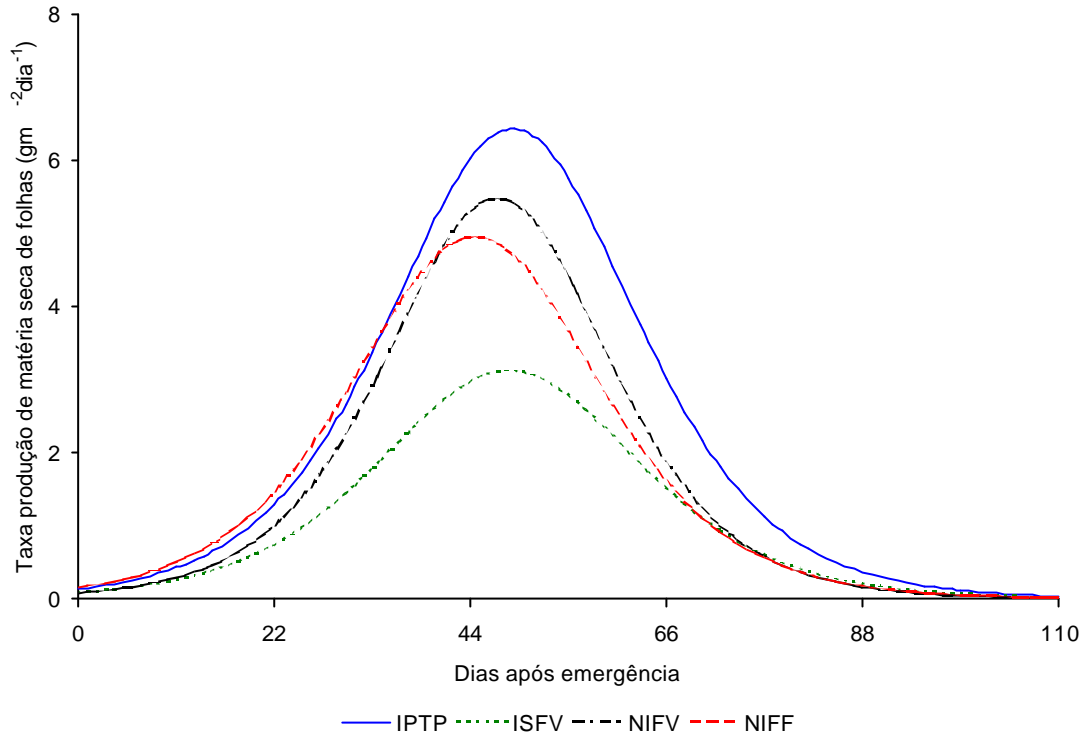


Figura 5.8 – Taxa de produção de matéria seca de folhas no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

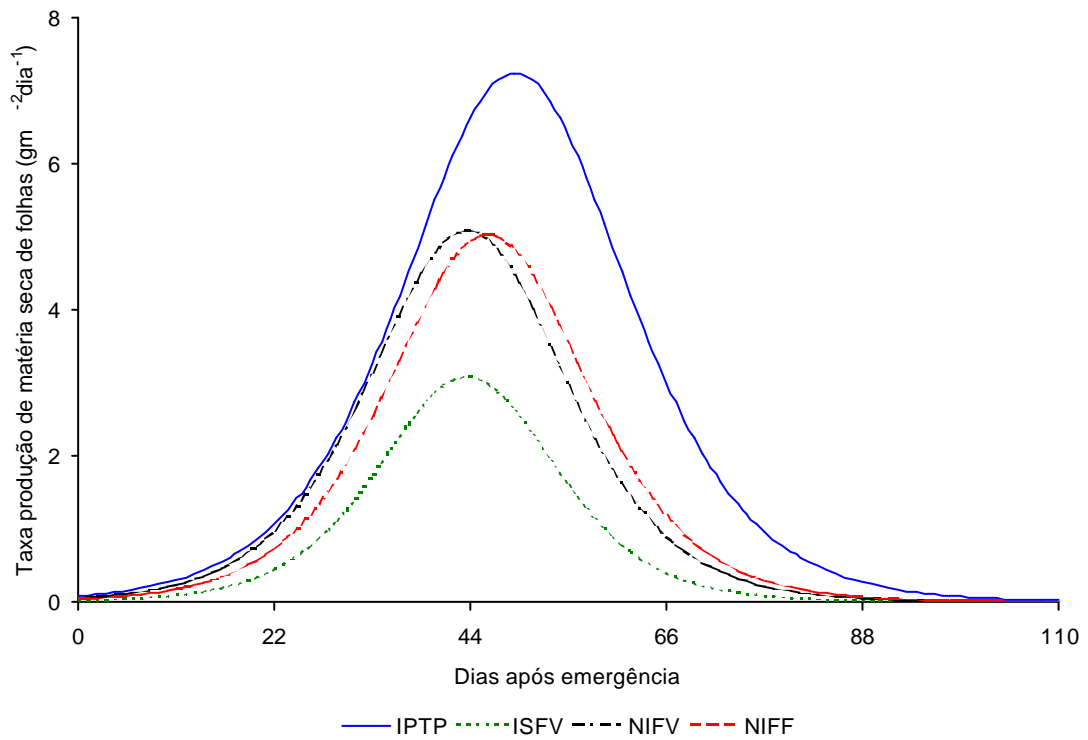


Figura 5.9 – Taxa de produção de matéria seca de folhas no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

A partir dos pontos máximos, todos os valores declinaram até aproximarem-se, assintoticamente, de zero.

Entre os dois experimentos, no ano de 1998/99, observou-se um aumento na  $C_F$  máxima, em relação a 1997/98, de 11% em IPTP e de apenas 1% em NIFF, ao passo que houve uma queda de 2% em ISFV e de 7% em NIFV, ou seja, praticamente, não houve variação nos valores máximos apresentados por IPTP e ISFV, nos dois ensaios.

As taxas máximas de acúmulo de matéria seca de folhas foram atingidas, nos tratamentos sob estresse, sempre antes do tratamento IPTP. Este resultado é contrário àquele verificado por MELGES (1983), para plantas de soja sombreadas a 30%, cuja taxa máxima foi atingida uma semana após aquela atingida pela testemunha.

Quanto ao comportamento do tratamento estressado por falta de água (NIFV), que sempre atingiu, antecipadamente, a taxa máxima de acúmulo de matéria seca de raiz, caule e folha, este resultado está de acordo com MIGLIORANZA (1992), que verificou o mesmo comportamento para feijão sob estresse hídrico.

### **5.2.5 Taxa de produção de matéria seca de flores**

Ao acúmulo de matéria seca de flores ajustou-se a equação de capacidade de calor (5.1) (Figura 21A e 22A), por esta apresentar o melhor ajuste. Em comparação aos outros ajustes, o de matéria seca de flores foi, em geral, o pior, apenas sendo melhor que o ajuste de cotilédone nos tratamentos NIFV e NIFF, em 1998/99, embora os modelos sejam diferentes. Em 1998/99, IPTP e NIFV; e, NIFV e NIFF foram iguais estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000).

A taxa de produção de matéria seca de flores foi obtida da derivada da equação de capacidade de calor (5.2). Os parâmetros utilizados são apresentados no Quadro 5.5.

De acordo com os dados dos gráficos de  $C_{FL}$ , em 1997/98 houve maior taxa de produção de matéria seca de flores (Figura 5.10 e 5.11). Este fato ocorreu devido ao estresse ambiental, que foi maior em 1997/98, quando a cultura encurtou o ciclo total, resultado este que pode ter sido afetado, também, pelo número de amostragens. Estes resultados estão de acordo com PEREIRA (1998).

$$W_{FL}(t) = a + b \cdot t + \frac{c}{t^2} \quad (5.1)$$

$$C_{FL} = b - \frac{2 \cdot c \cdot t}{(t^2)^2} \quad (5.2)$$

em que

$W_{FL}(t)$  = matéria seca de flores ( $\text{g m}^{-2}$ );

$C_{FL}$  = taxa de produção de matéria seca de flores ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ );

t = tempo ou dias após emergência (dia); e

a, b, c = parâmetros da equação (Quadro 5.5).

Quadro 5.5 – Parâmetros do modelo de capacidade de calor ajustado aos dados de matéria seca de flores nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		a	b	c	
1997/98	IPTP	51,8442	-0,5031	-56328,6860	0,858
	ISFV	22,0504	-0,2171	-22687,3300	0,771
	NIFV	48,2583	-0,4691	-52099,4450	0,856
	NIFF	51,4993	-0,5027	-54771,4270	0,839
1998/99	IPTP	33,4823	-0,3285	-29673,4840	0,838
	ISFV	23,5895	-0,2289	-21053,5080	0,831
	NIFV	39,9769	-0,4019	-33647,1000	0,931
	NIFF	33,9177	-0,3368	-29605,9360	0,874

### 5.2.6 Taxa de produção de matéria seca de vagens

Aos dados de matéria seca de vagens foi ajustado o modelo logístico (Equação 4.1) (Figura 23A e 24A).

O ajuste foi melhor em 1997/98, em relação a 1998/99. Os parâmetros utilizados são apresentados no Quadro 5.6.

A taxa de produção de matéria seca de vagens foi obtida da derivada da equação logística (4.2).

Em geral, no ensaio de 1998/99, a cultura apresentou maiores taxas de produção de matéria seca de vagens do que no ensaio de 1997/98 (Figura 5.12 e 5.13).

Verificou-se que, em 1997/98, as taxas de produção de vagens apresentaram comportamento mais ameno do que em 1998/99, quando todos os tratamentos apresentaram inclinações mais elevadas nas curvas de taxas de produção de matéria seca.

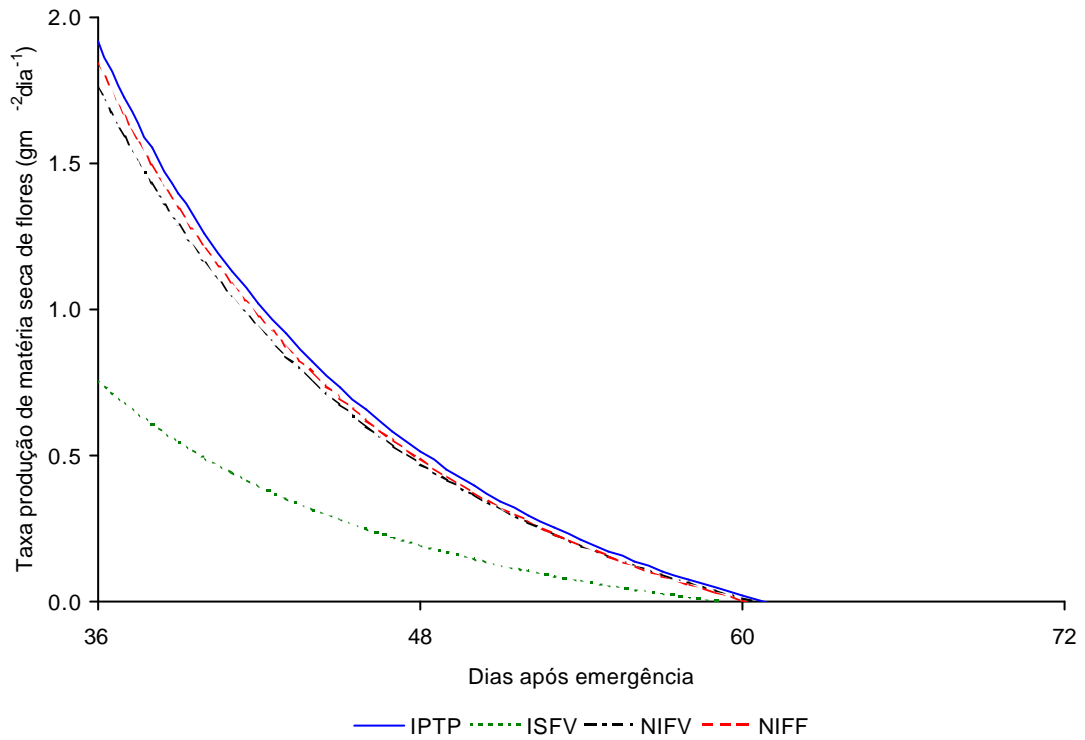


Figura 5.10 – Taxa de produção de matéria seca de flores no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

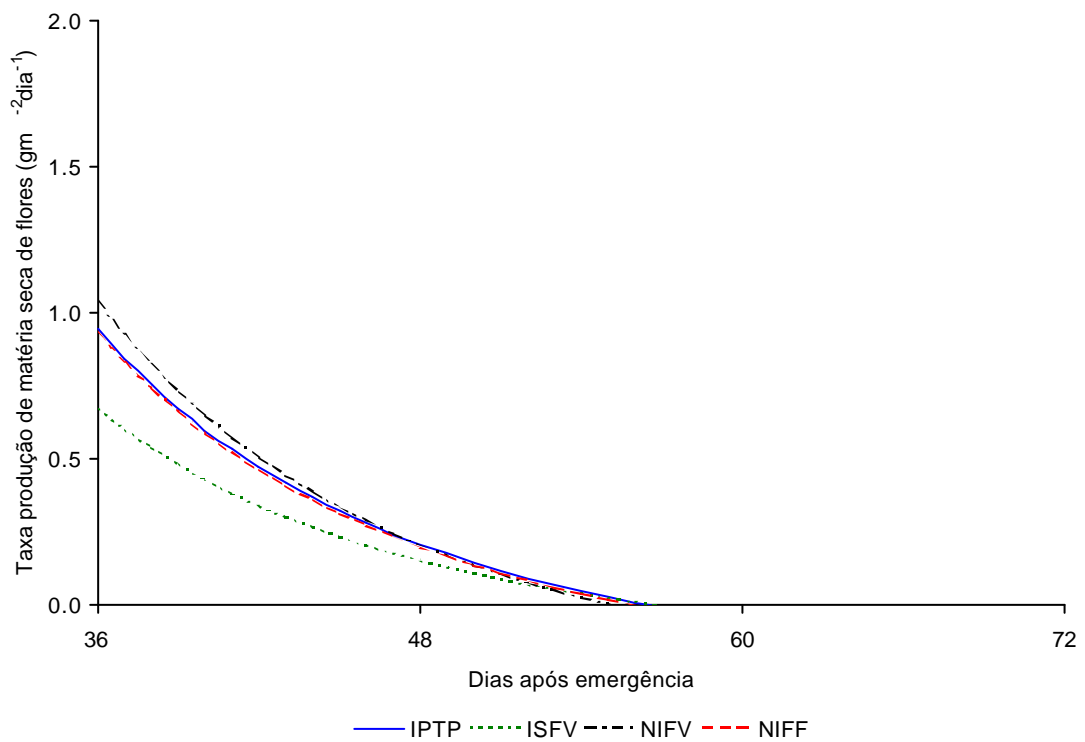


Figura 5.11 – Taxa de produção de matéria seca de flores no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

Quadro 5.6 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca de vagens nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	194,8381	216249,8800	0,1631	1,000
	ISFV	131,6173	86077199,0000	0,2381	1,000
	NIFV	160,4218	17966940,0000	0,2297	1,000
	NIFF	164,8657	232911290,0000	0,2763	1,000
1998/99	IPTP	232,4168	36744826000,000	0,3302	0,983
	ISFV	80,7788	82655201000,000	0,3449	0,971
	NIFV	169,7714	27821938000,0000	0,3332	0,994
	NIFF	166,5887	96289631000,0000	0,3593	0,973

Em 1997/98, IPTP atingiu a  $C_v$  máxima, aos 75 DAE, com  $7,939 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; ISFV atingiu  $C_v$  máximo, aos 77 DAE, com  $7,826 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; NIFV, aos 73 DAE, com  $9,203 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e NIFF aos 70 DAE com  $11,372 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste ensaio, NIFF atingiu a maior taxa de produção de vagens seguido por NIFV, IPTP e ISFV.

No ano de 1998/99, as taxas máximas ocorreram aos 74 DAE, para IPTP, com  $19,131 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 73 DAE, para ISFV, com  $6,963 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 72 DAE, para NIFV, com  $14,130 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e aos 70 DAE para NIFF com  $14,895 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste experimento, IPTP apresentou a maior  $C_v$ , seguido por NIFF, NIFV e ISFV.

A partir dos pontos máximos, todos os valores declinaram até aproximar-se de zero.

Entre os dois experimentos, no ano de 1998/99, observou-se um aumento na taxa máxima de produção de matéria seca de vagens, em relação a 1997/98, de 59% em IPTP, uma queda de 11% em ISFV, um aumento de 35% para NIFV e 24% para NIFF.

Em geral, a produção de vagens foi afetada, positivamente, pelo estresse hídrico mais que pelo sombreamento. O sombreamento provocou a menor taxa de produção de vagens, conforme verificado por MELGES (1983). Observou-se que NIFF apresentou taxa maior que NIFV, enquanto NIFV apresentou taxa maior que IPTP e IPTP apresentou taxa maior que ISFV, ou seja, quanto mais próximo da fase correspondente à produção de vagens, foi a ocorrência do estresse hídrico, maior foi a taxa de produção de vagens.

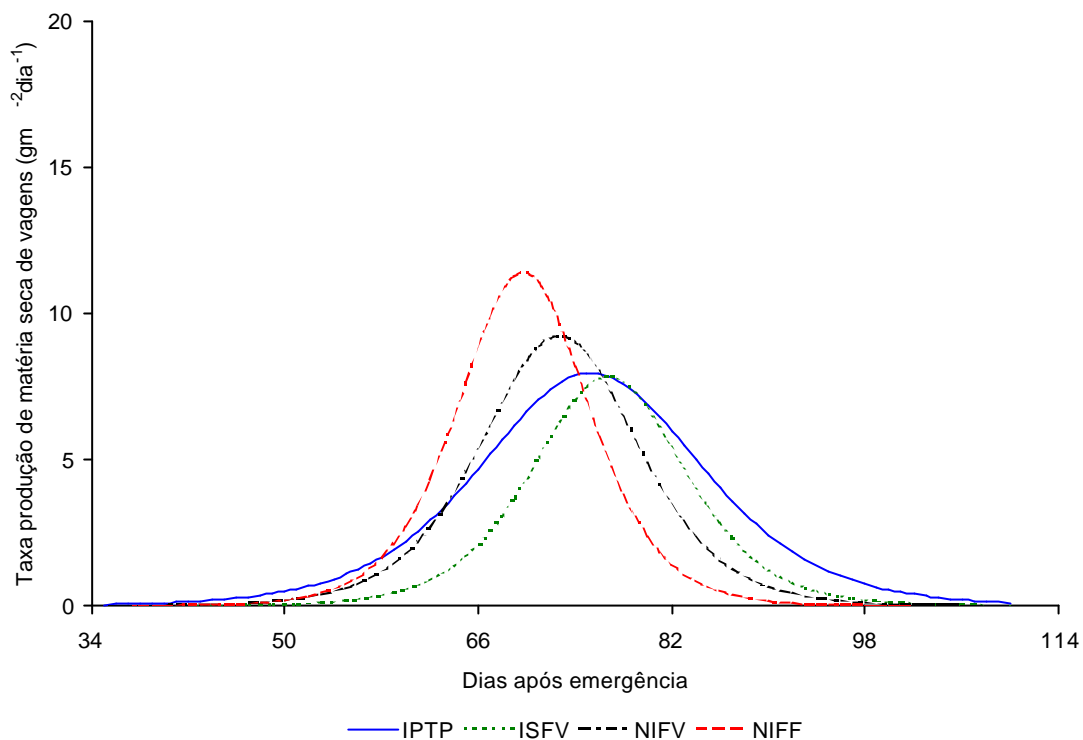


Figura 5.12 – Taxa de produção de matéria seca de vagens no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

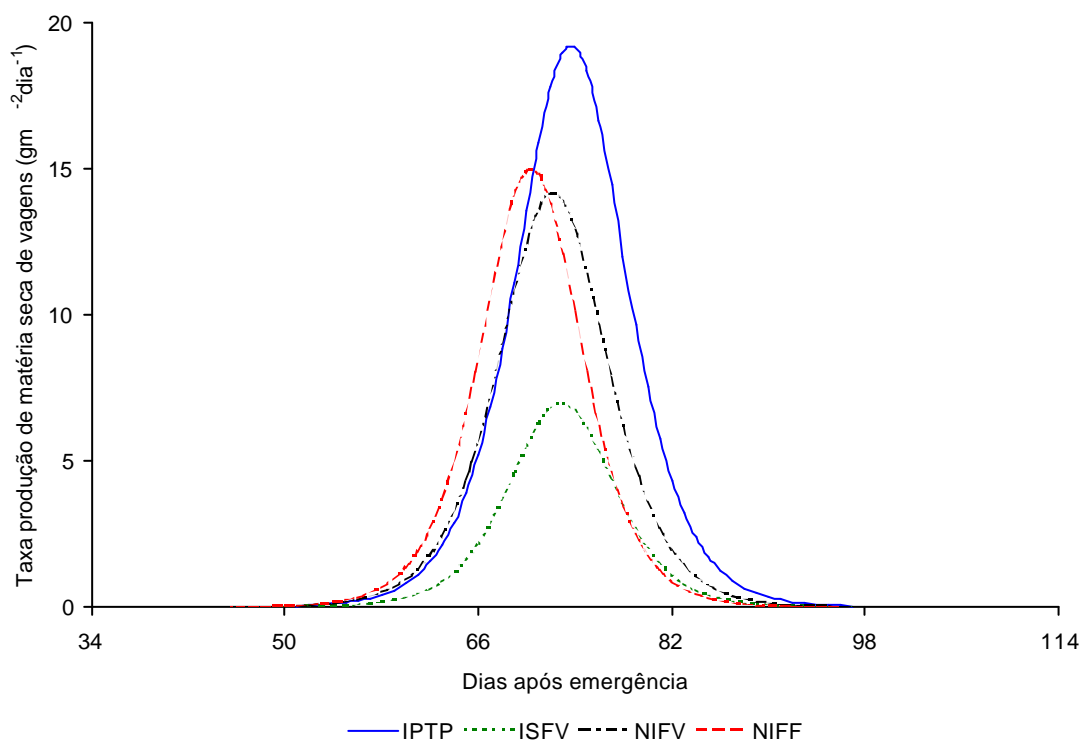


Figura 5.13 – Taxa de produção de matéria seca de vagens no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

## 5.2.7 Taxa de produção de matéria seca de grãos

Como no procedimento para vagens, o modelo logístico foi ajustado à matéria seca de grãos. Neste caso, também para grãos, o ensaio de 1997/98 apresentou melhor ajuste (Figura 25A e 26A). Os parâmetros utilizados são apresentados no Quadro 5.7.

Quadro 5.7 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de matéria seca de grãos nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	328,7252	216388110000,0000	0,3111	1,0000
	ISFV	194,4097	337370030000,0000	0,3156	1,0000
	NIFV	230,2676	212976620000,0000	0,3233	1,0000
	NIFF	270,1623	3447253400,0000	0,2619	1,0000
1998/99	IPTP	526,7125	18183389,0000	0,1813	0,954
	ISFV	108,3947	1654509000,0000	0,2379	0,990
	NIFV	369,2189	1872514,9000	0,1594	0,998
	NIFF	266,9530	69057,4570	0,1289	0,985

A taxa de produção de matéria seca de grãos foi obtida da derivada da equação logística (Equação 4.2).

Em geral, o ensaio de 1997/98 apresentou maiores taxas de produção de matéria seca de grãos que 1998/99 (Figura 5.14 e 5.15). Em 1997/98, IPTP atingiu a  $C_G$  máxima, aos 84 DAE, com  $25,559 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; ISFV atingiu  $C_V$  máximo, aos 84 DAE, com  $15,336 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; NIFV aos 81 DAE, com  $18,562 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e NIFF aos 84 DAE com  $17,683 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste ensaio, IPTP atingiu a maior taxa de produção de grãos, seguido por NIFV, NIFF e ISFV.

No ano de 1998/99, as taxas máximas ocorreram aos 92 DAE, para IPTP, com  $23,857 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 89 DAE, para ISFV, com  $6,441 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ; aos 91 DAE, para NIFV, com  $14,699 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$  e aos 86 DAE para NIFF com  $8,597 \text{ g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ . Neste experimento, IPTP apresentou a maior  $C_V$ , seguido por NIFV, NIFF e ISFV.

Os valores máximos, em todos os tratamentos, declinaram até aproximar-se de zero.

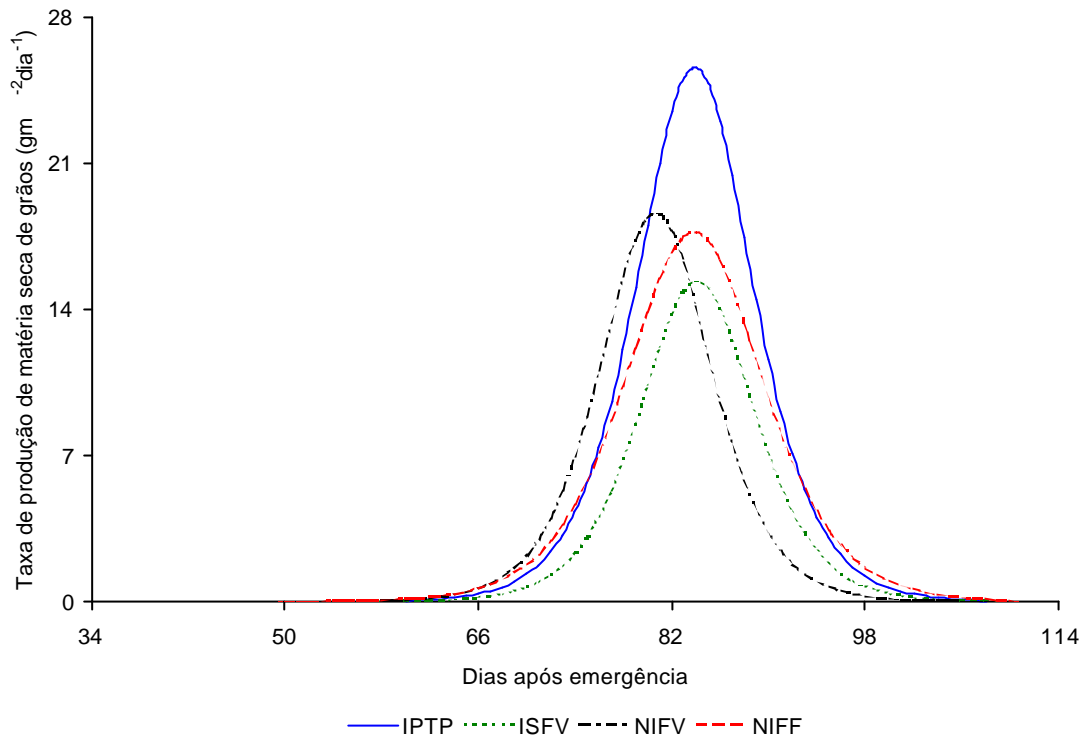


Figura 5.14 – Taxa de produção de matéria seca de grãos no ensaio de 1997/98, em Viçosa-MG.

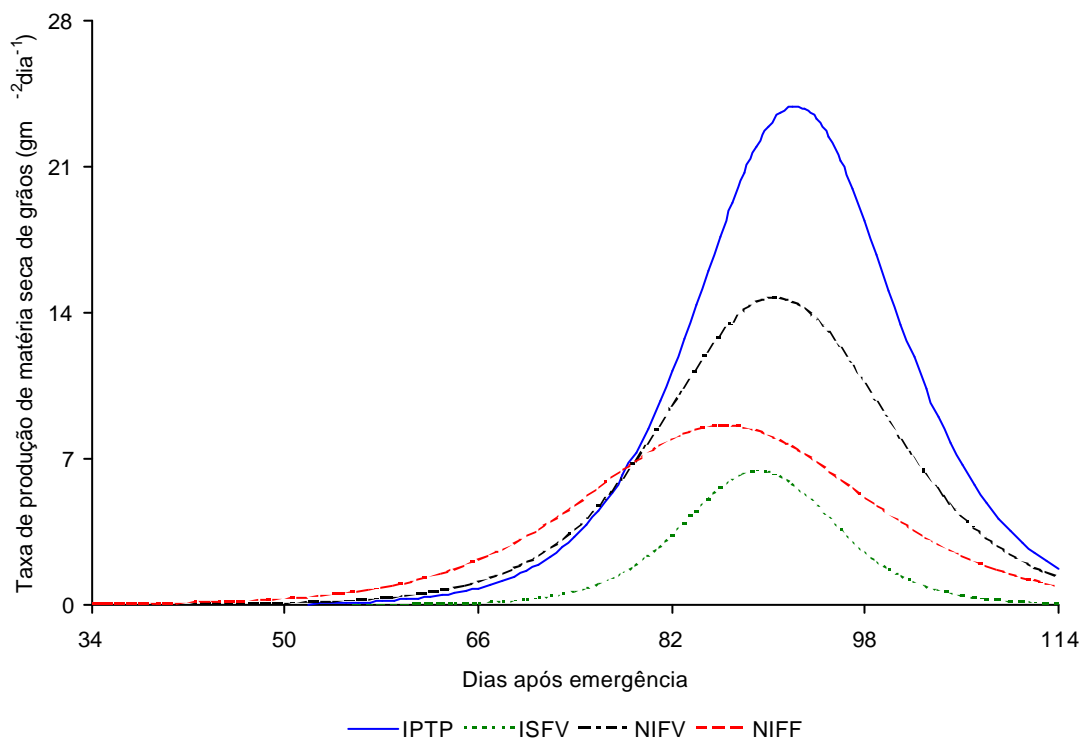


Figura 5.15 – Taxa de produção de matéria seca de grãos no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

Entre os experimentos, no ano de 1998/99, observou-se, uma queda na  $C_G$  máxima, em relação à 1997/98, de 7% em IPTP, 58% em ISFV, 21% em NIFV e 51% em NIFF.

Em geral, os tratamentos IPTP e NIFV apresentaram as maiores taxas máximas de produção de matéria seca de grãos, o que refletiu nas maiores produtividades, embora não necessariamente na mesma ordem.

### **5.3 Partição de fotoassimilados**

#### **5.3.1 Drenos preferenciais**

A distribuição de fotoassimilados logo após a germinação apresenta caule, raiz e folha na ordem dos drenos preferenciais, o que permanece até por volta dos quatro DAE, quando a folha supera a raiz. Aos sete DAE, aproximadamente, a folha supera também o caule e fica estabelecida a seqüência de drenos preferenciais com folha, caule e raiz. Esta ordem foi verificada no experimento de 1997/98, sendo sua duração variável de acordo com cada tratamento (Figura 5.16). No tratamento IPTP, esta ordem mudou novamente, aos 44 DAE, quando o caule passou a ser preferencial em relação à folha. No ISFV, esta mesma alteração ocorreu, aos 38 DAE, no NIFV aos 37 DAE e no NIFF aos 35 DAE e, assim, ficando caule, folha e raiz na seqüência da preferência pelo recebimento de fotoassimilados.

Em 1998/99, desde o início, a ordem foi folha, caule e raiz. Vale ressaltar que, neste último ensaio, a coleta só foi iniciada aos quatro dias após a germinação. Este fato pode ter mascarado a seqüência preferencial dos drenos, que realmente ocorre logo após a germinação. A ordem estabelecida no início do ciclo foi alterada, como ocorrido em 1997/98, no final da fase vegetativa. Em IPTP, a troca ocorreu aos 42 DAE, em ISFV aos 46 DAE, em NIFV aos 44 DAE e em NIFF também aos 44 DAE, ficando, a partir daí, a seqüência preferencial de caule, folha e raiz.

Em todos os tratamentos, a folha teve preferência como dreno crescente até, mais ou menos, os 18 DAE, quando iniciou o declínio. No ISFV, em 1998/99, a folha apresentou uma força menor neste dreno, em relação aos outros tratamentos, no início do ciclo.

Em geral, a raiz iniciou o declínio em torno de 10 DAE, com exceção do tratamento ISFV em 1998/99, em que este dreno manteve-se crescente até aos 20 DAE, aproximadamente (Figura 5.16). Verificou-se ainda que, em 1998/99, ISFV apresentou

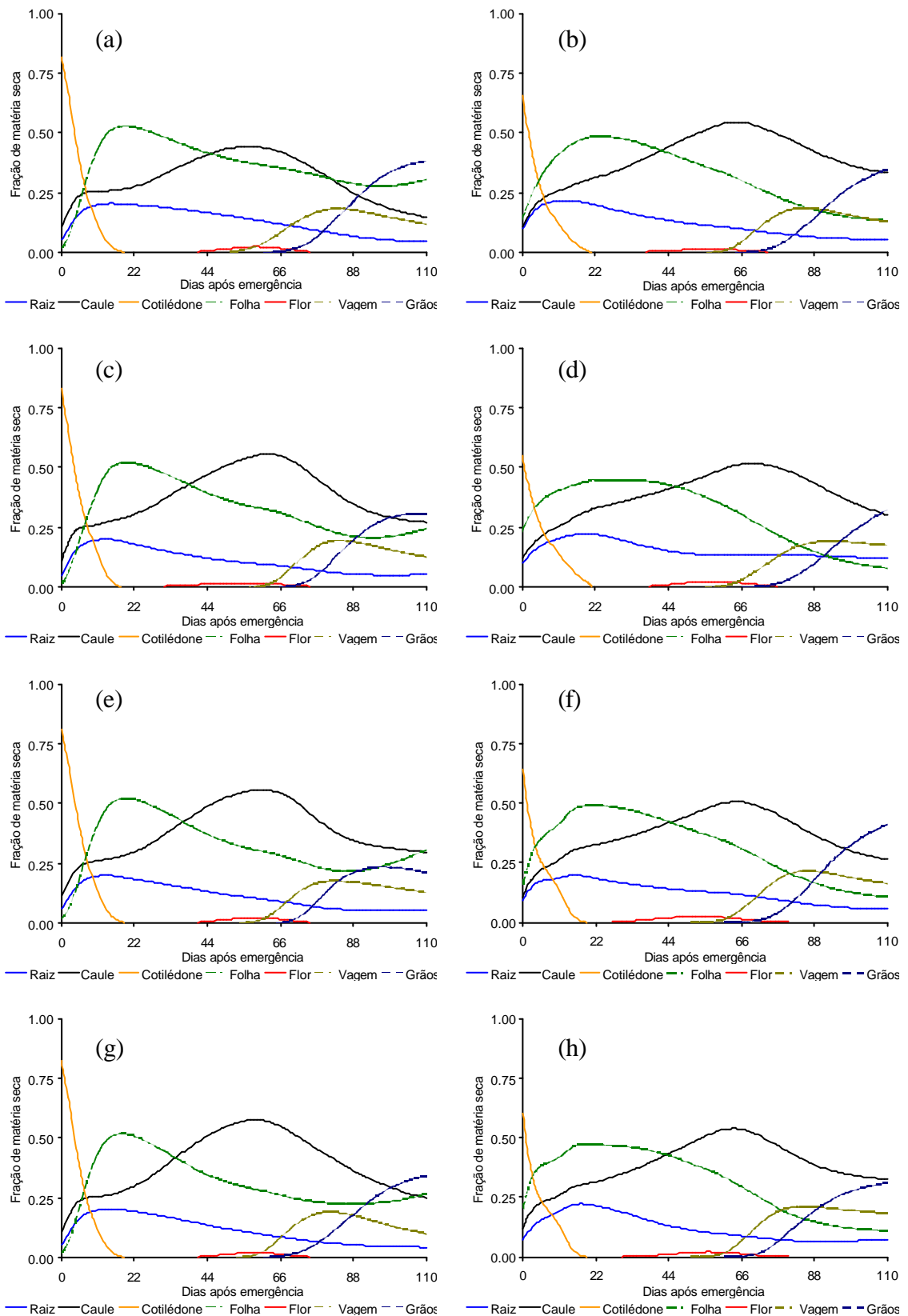


Figura 5.16 – Partição de matéria seca da cultura de soja entre os diversos componentes da planta ao longo do ciclo nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente], em Viçosa-MG.

valores mais elevados para acúmulo percentual de matéria seca na raiz do que os demais tratamentos, durante todo o período (Figura 5.16 e Quadro 5.8).

Aos 35 DAE, aproximadamente, as flores apareceram para receber sua parte da matéria seca, culminando com o máximo recebimento de fotoassimilados aos 55 DAE, aproximadamente.

Em torno dos 51 DAE, as vagens começaram a receber suprimentos, atingindo o máximo aos 80 DAE, aproximadamente. Entretanto, em 1998/99, o ISFV atingiu o máximo aos 90 DAE.

Os grãos iniciaram o recebimento de fotoassimilados por volta dos 61 DAE e atingiram o máximo ao final do ciclo, conforme esperado. Apenas NIFV, em 1997/98, atingiu o máximo antes, ou seja, aos 95 DAE, o que possivelmente, foi influenciado pela variabilidade dos dados coletados naquele ano.

O caule iniciou seu declínio por volta dos 60 DAE, ou seja, coincidiu com o início da partição para vagens e grãos. Vale ressaltar que ISFV, em 1998/99, iniciou o declínio do caule aos 70 DAE.

O caule mostrou-se como o grande responsável pela transferência de reservas para os grãos (Figura 5.16 e 5.17).

As correlações de crescimento entre os diversos órgãos das plantas são correlações entre taxas de crescimento e, conseqüentemente, são governadas tanto pelas condições internas de crescimento quanto pelas condições do ambiente (BROUWER, 1962).

### **5.3.2 Partição de fotoassimilados ao longo do ciclo**

Em geral, o comportamento da cultura foi o mesmo com relação à partição de fotoassimilados (Figura 5.17), embora as proporções tenham sido afetadas pelos tratamentos. Esses resultados são coerentes com os verificados por SINGH et al. (1978) em cevada, e contrários aos verificados por COOPER (1966) em leguminosas.

No tratamento IPTP, comparando as partições entre 1997/98 e 1998/99 (Figura 5.17) observa-se que, em 1997/98, a cultura priorizou raiz e folha em detrimento do caule, enquanto, em 1998/99, houve priorização maior do caule em detrimento de raiz e folhas. Em 1997/98, ocorreu também maior investimento em flores, vagens e grãos, em relação a 1998/99.

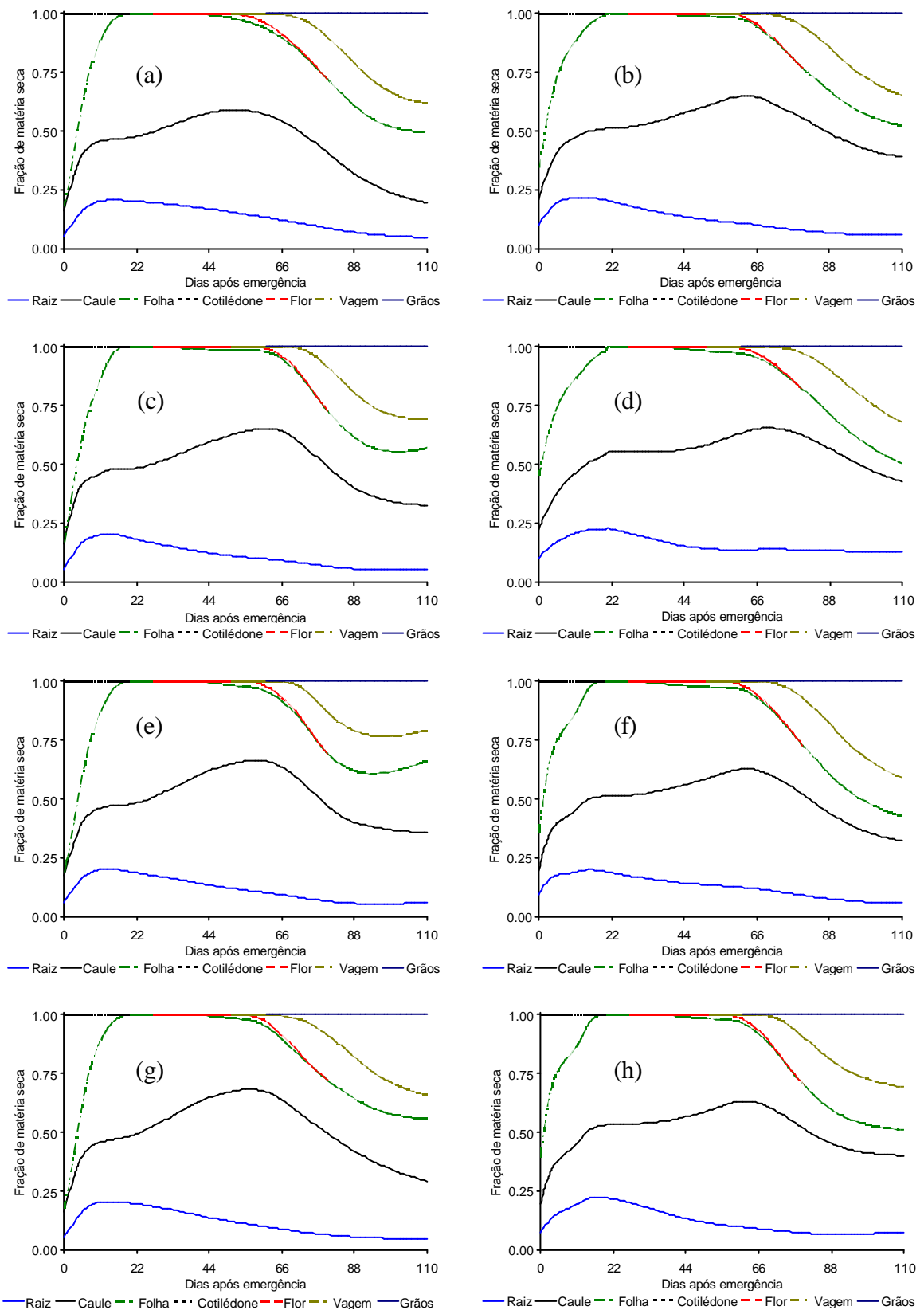


Figura 5.17 – Partição de matéria seca na cultura de soja entre os diversos componentes da planta ao longo do ciclo, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente], em Viçosa-MG.

Quadro 5.8 – Componentes da planta de soja, como uma porcentagem da matéria seca total, crescendo nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) em 1997/98 e 1998/99 († Dias após emergência. ‡ Baseado em Fehr e Caviness (1977))

Componentes da Planta	1997/98				1998/99			
	IPTP	ISFV	NIFV	NIFF	IPTP	ISFV	NIFV	NIFF
	%							
	13 DAE † (estádio V1) ‡							
Raiz	20,39	20,10	19,99	20,34	21,62	21,26	19,31	20,66
Caule	25,73	27,03	26,66	25,92	27,04	27,14	28,33	27,58
Cotilédone	5,73	6,71	6,81	5,80	7,94	10,16	7,59	7,53
Folha	48,15	46,16	46,54	47,94	43,40	41,43	44,77	44,23
	25 DAE (estádio V3)							
Raiz	19,62	16,95	17,74	18,73	18,85	21,34	17,68	20,58
Caule	29,02	32,23	31,79	32,25	32,54	33,92	33,54	32,64
Folha	51,36	50,82	50,47	49,01	48,61	44,75	48,79	46,77
	34 DAE (estádio V6)							
Raiz	18,48	14,46	15,70	16,49	15,97	18,17	15,76	16,98
Caule	34,79	39,33	39,82	41,36	37,43	37,06	36,97	37,04
Folha	46,67	45,65	44,39	42,07	46,31	44,58	46,54	45,76
	46 DAE (estádio R1)							
Raiz	16,29	11,73	12,83	13,08	13,02	14,68	13,84	12,50
Caule	41,91	48,61	50,18	52,46	45,43	41,94	42,82	44,63
Folha	40,87	38,27	36,02	33,57	40,63	42,12	41,22	41,57
Flor	0,93	1,39	0,97	0,88	0,92	1,26	2,12	1,30
	66 DAE (estádio R5)							
Raiz	12,01	8,91	9,11	8,69	9,87	13,56	11,65	8,82
Caule	42,14	54,97	54,34	54,93	54,44	51,36	50,52	53,54
Folha	35,41	31,02	28,23	26,15	30,22	30,43	30,95	29,47
Flor	1,74	1,10	1,60	1,48	0,95	1,71	1,36	1,28
Vagem	8,26	3,93	6,57	8,24	4,42	2,92	5,40	6,73
	83 DAE (estádio R6)							
Raiz	7,85	5,97	5,90	5,91	7,14	13,37	8,27	6,65
Caule	29,17	38,98	37,71	40,41	45,70	46,86	40,49	41,76
Folha	30,25	22,67	21,86	22,54	20,15	17,68	19,19	16,79
Vagem	18,37	19,47	17,61	18,94	18,48	16,99	21,24	21,04
Grãos	14,35	12,90	16,92	12,20	8,53	5,10	10,81	13,76
	93 DAE (estádio R7)							
Raiz	5,98	5,10	5,34	5,02	6,11	12,84	6,70	6,39
Caule	21,62	31,56	32,73	33,00	39,41	39,81	33,21	36,30
Folha	27,96	20,68	22,61	22,59	16,28	12,47	14,39	13,13
Vagem	16,58	17,61	16,24	15,74	17,31	19,16	20,45	20,34
Grãos	27,86	25,05	23,09	23,66	20,89	15,73	25,25	23,83

No tratamento ISFV (Figura 5.17), em 1997/98, houve priorização das folhas e do caule em detrimento da raiz, até os 70 DAE e, a partir desta data, o caule deixou de ser prioritário, ficando as folhas como dreno principal, em detrimento de caule e raiz. Em 1998/99, a raiz foi priorizada em detrimento do caule e folhas até os 70 DAE, quando raiz e caule passaram a ser priorizados em detrimento das folhas. Em 1998/99, neste tratamento, as flores foram mais priorizadas, embora tenha havido menor partição para vagens e grãos, em relação a 1997/98.

No tratamento NIFV, em 1997/98, houve priorização do caule em detrimento de folhas e raiz e, em 1998/99, priorização de folhas e raiz em detrimento do caule. Em 1998/99, houve maior partição para flores, vagens e grãos, em relação a 1997/98.

No tratamento NIFF, em 1997/98, o caule foi priorizado em detrimento de folha e raiz até em torno de 70 DAE quando, então, as folhas passaram a ser prioridade em detrimento de raiz e caule. Em 1998/99, raiz e folhas foram priorizadas em detrimento do caule. Neste caso, a folha foi priorizada até por volta de 70 DAE quando, então, o caule passou a ser prioritário em detrimento de raiz e folhas. A partição para flores foi semelhante, nos dois anos, sendo maior a partição para vagem, em 1998/99, e maior para grãos em 1997/98.

Na partição entre todos os tratamentos (Quadro 5.8), observa-se que, em 1997/98, IPTP enviou mais assimilados para as raízes, sendo ISFV o que menos investiu neste órgão.

Já em 1998/99, ISFV foi o que mais investiu em raiz, seguido por NIFV, IPTP e, por último, NIFF.

Em 1997/98, NIFF foi o que mais investiu no caule, sendo IPTP o que menos investiu, neste órgão. Em 1998/99, IPTP foi o que mais investiu no caule, seguido por NIFF na fase vegetativa, e ISFV na fase reprodutiva.

No ano de 1997/98, IPTP foi o que mais investiu em folhas, seguido por ISFV, NIFV e NIFF. Em 1998/99, NIFV foi o que mais investiu em folhas, embora as diferenças entre os demais tratamentos tenham sido muito pequenas.

Entre flores, vagens e grãos, as diferenças foram maiores em grãos, sendo que, em 1997/98, IPTP foi o que fez mais partição para grãos, enquanto em 1998/99, o que menos investiu neste componente foi ISFV.

Esta tendência geral na alocação de matéria seca está de acordo com o demonstrado por vários autores (ALLEN et al., 1991). Em geral, observou-se ocorrência

de mudança do dreno metabólico preferencial de um órgão para outro, em virtude das transformações metabólicas da planta.

### 5.3.3 Comparação entre as razões dos componentes da planta

A seguir, é apresentada uma comparação mais detalhada entre os tratamentos quanto à partição de fotoassimilados para cada componente da planta.

#### 5.3.3.1 Comparação entre as razões de massa radicular

A função racional foi a equação ajustada aos dados de matéria seca de raiz logaritimizadas, sendo que os parâmetros obtidos constam no Quadro 5.9.

Quadro 5.9 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de massa seca de raiz logaritimizadas dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-1,7523	0,2005	0,0189	0,0001	0,998
	ISFV	-1,9898	0,1949	0,0366	0,0000	0,998
	NIFV	-1,7295	0,1847	0,0187	0,0001	0,996
	NIFF	-1,7459	0,2078	0,0212	0,0002	0,997
1998/99	IPTP	-1,1352	0,1327	0,0024	0,0001	0,996
	ISFV	-1,0290	0,0889	-0,0055	0,0001	0,995
	NIFV	-1,2173	0,1100	-0,0064	0,0002	0,998
	NIFF	-1,2921	0,1254	0,0014	0,0002	0,993

A razão de massa radicular apresentou comportamento semelhante entre os tratamentos, no ano de 1997/98 (Figura 5.18) e diferente entre os tratamentos no ensaio de 1998/99 (Figura 5.19). Em 1997/98, as diferenças foram pequenas, enquanto em 1998/99 foram grandes. Entre ISFV e os demais tratamentos, ocorreram grandes diferenças a partir de 30 DAE, com grande destaque para ISFV, que apresentou valores mais elevados até o final do ciclo. Em 1997/98, a razão de massa radicular atingiu o máximo, aos 19 DAE, para IPTP, aos 17 DAE para ISFV e aos 18 DAE para NIFV e NIFF. IPTP apresentou valores sempre superiores aos demais, seguido por NIFF, NIFV

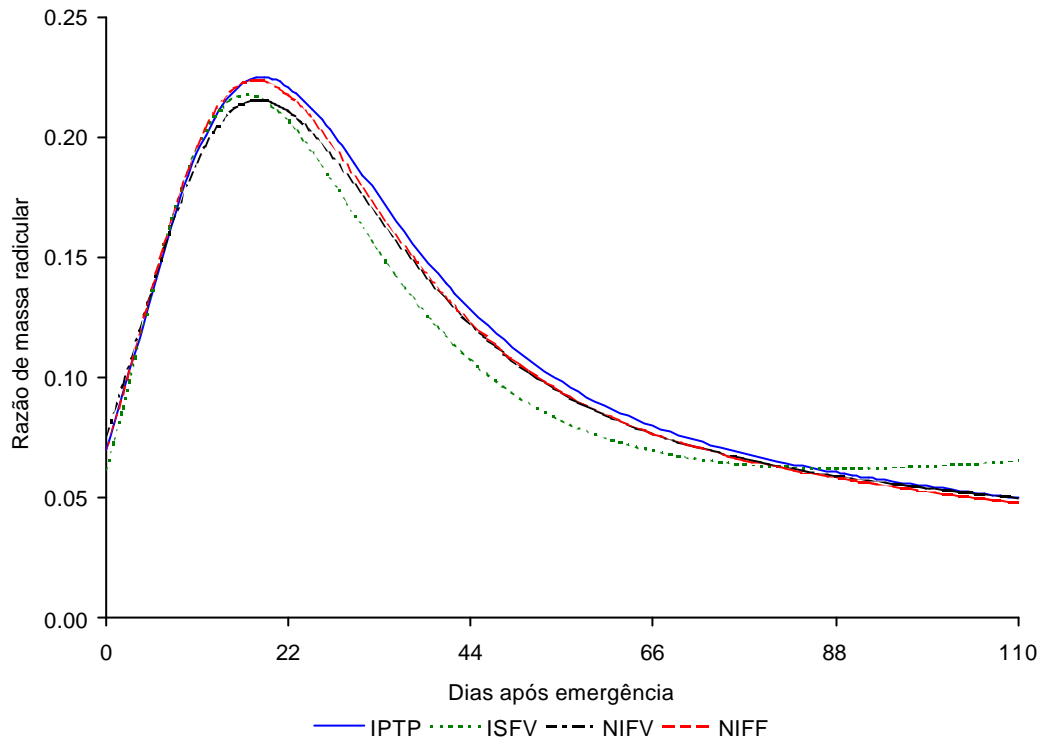


Figura 5.18 – Razão de massa radicular ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

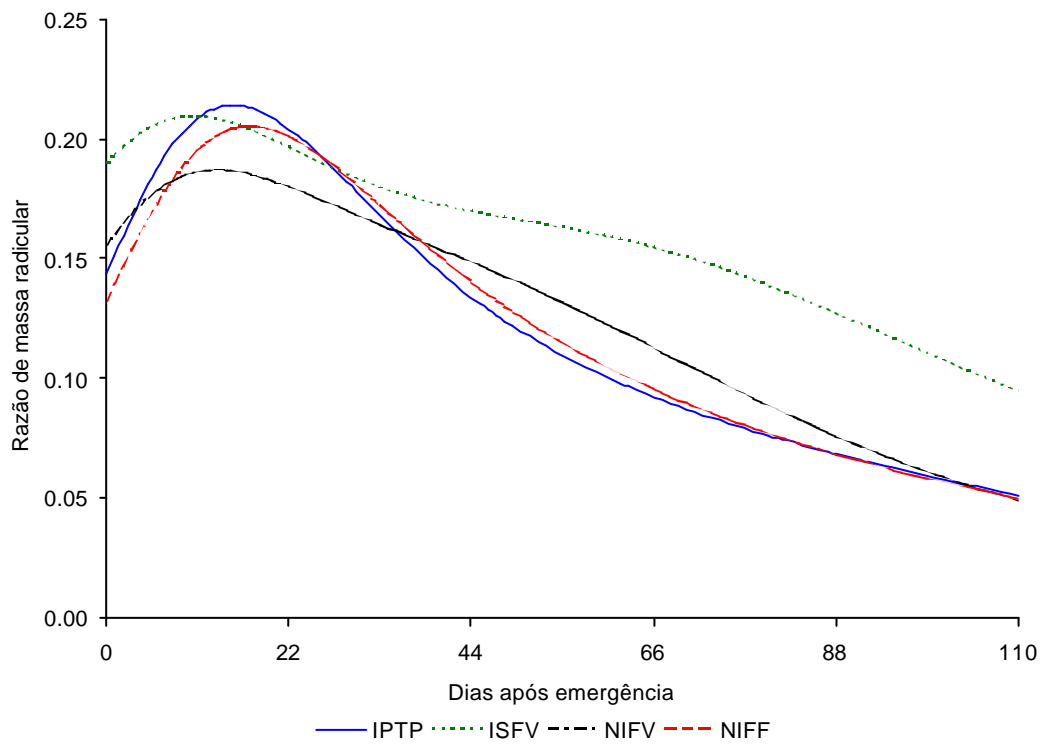


Figura 5.19 – Razão de massa radicular ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

e ISFV (Figura 5.18). Até aos 19 DAE, a ordem foi NIFF, IPTP, ISFV e NIFV. Dos 19 até 85 DAE, a ordem foi IPTP, NIFF, NIFV e ISFV, enquanto de 85 DAE até o final foi ISFV, IPTP, NIFV e NIFF. Durante o ciclo todo, a ordem foi IPTP, NIFF, NIFV e ISFV. Em 1997/98, NIFV e NIFF foram iguais estatisticamente entre si, a 5% de probabilidade pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000).

Em 1998/99, a razão de massa radicular atingiu o máximo, aos 15 DAE, para IPTP, aos 10 DAE para ISFV, aos 13 DAE para NIFV e aos 17 DAE para NIFF. ISFV apresentou valores sempre superiores aos demais. IPTP e NIFF apresentaram valores próximos. NIFV seguiu a tendência de ISFV, mas em relação a este, apresentou valores menores durante todo o ciclo. Em relação a IPTP e NIFF, o tratamento NIFV apresentou valores menores até aos 35 DAE e valores superiores a partir desta data (Figura 5.19). Até 16 DAE, a ordem foi ISFV, IPTP, NIFV e NIFF. Dos 16 até aos 39 DAE, a ordem foi ISFV, NIFF, IPTP e NIFV, enquanto de 39 DAE até o final foi ISFV, NIFV, NIFF e IPTP. Durante o ciclo todo, a ordem foi ISFV, NIFV, IPTP e NIFF.

Após atingirem o máximo, declinaram até o final do ciclo. Em 1997/98, esse declínio apresentou comportamento semelhante, sendo maior, em 1998/99, nos tratamentos IPTP e NIFF. O máximo, em 1998/99, foi alcançado em menor tempo do que em 1997/98. Esse adiantamento pode ter sido devido ao ajuste da equação aos dados.

Estes dados corroboram aqueles discutidos sobre a partição de fotoassimilados, indicando a tendência verificada na partição de raiz, ou seja, em 1997/98 IPTP direcionou mais assimilados para as raízes, enquanto ISFV investiu menos neste órgão. Entretanto, em 1998/99, ISFV foi o que mais investiu em raiz, seguido por NIFV, IPTP e por último NIFF.

### **5.3.3.2 Comparação entre as razões de massa de caule**

A função racional foi a equação ajustada aos dados de matéria seca de caule logaritimizados, sendo que os parâmetros obtidos são apresentados no Quadro 5.10.

Em 1997/98, a razão de massa de caule mostrou que IPTP não fez grande investimento neste componente (Figura 5.20). Este tratamento atingiu o máximo antes dos demais, aos 34 DAE, iniciando seu declínio também antes. ISFV atingiu o máximo aos 61 DAE, NIFV aos 57 DAE e NIFF aos 59 DAE. Até os 31 DAE, de forma integrada, a ordem foi ISFV, NIFV, NIFF e IPTP. Dos 31 até os 80 DAE, foi NIFF,

NIFV, ISFV e IPTP enquanto, dos 80 até o final, a ordem foi ISFV, NIFF, NIFV e IPTP. Para o ciclo todo, a ordem foi NIFF, ISFV, NIFV e IPTP.

Em 1998/99, ISFV e NIFF mostraram um comportamento diferente dos demais tratamentos (Figura 5.21). Nesta figura, observa-se um crescimento lento até os 20 DAE e, depois, estes dois tratamentos aceleram o crescimento da razão de massa do caule, atingindo o máximo aos 64 DAE e 63 DAE para ISFV e NIFF, respectivamente. O comportamento é semelhante para IPTP e NIFV, ou seja, há um crescimento rápido até os 20 DAE e, depois, um crescimento mais lento da razão de massa de caule até atingir o máximo aos 66 DAE, para IPTP, e aos 61 DAE para NIFV. A partir do máximo, o tratamento NIFV apresenta queda mais acentuada, em relação a IPTP, nos valores de razão de massa de caule. Até os 39 DAE, a ordem foi NIFV, NIFF, IPTP e ISFV. De 39 DAE até aos 83 DAE a ordem foi ISFV, NIFF, IPTP e NIFV e, de 83 DAE até o final do ciclo, a ordem foi IPTP, ISFV, NIFF e NIFV. Para o ciclo todo, a ordem foi ISFV, NIFF, IPTP e NIFV.

Quadro 5.10 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de massa seca de caule logaritmizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-1,0511	0,1533	0,0012	0,0002	0,999
	ISFV	-1,1890	0,1454	0,0027	0,0001	0,998
	NIFV	-1,0923	0,1475	-0,0013	0,0002	0,998
	NIFF	-1,0119	0,1535	-0,0014	0,0002	0,999
1998/99	IPTP	-1,0392	0,1386	-0,0037	0,0001	0,997
	ISFV	-0,8202	0,0885	-0,0119	0,0002	0,996
	NIFV	-1,0696	0,1262	-0,0068	0,0002	0,998
	NIFF	-0,7510	0,0996	-0,0109	0,0002	0,995

Estes resultados corroboram o discutido em partição para caule. Em 1997/98, NIFF foi o que mais investiu neste órgão e o que menos investiu foi IPTP. Em 1998/99, IPTP foi o que mais investiu no caule, seguido por NIFF na fase vegetativa e ISFV na fase reprodutiva.

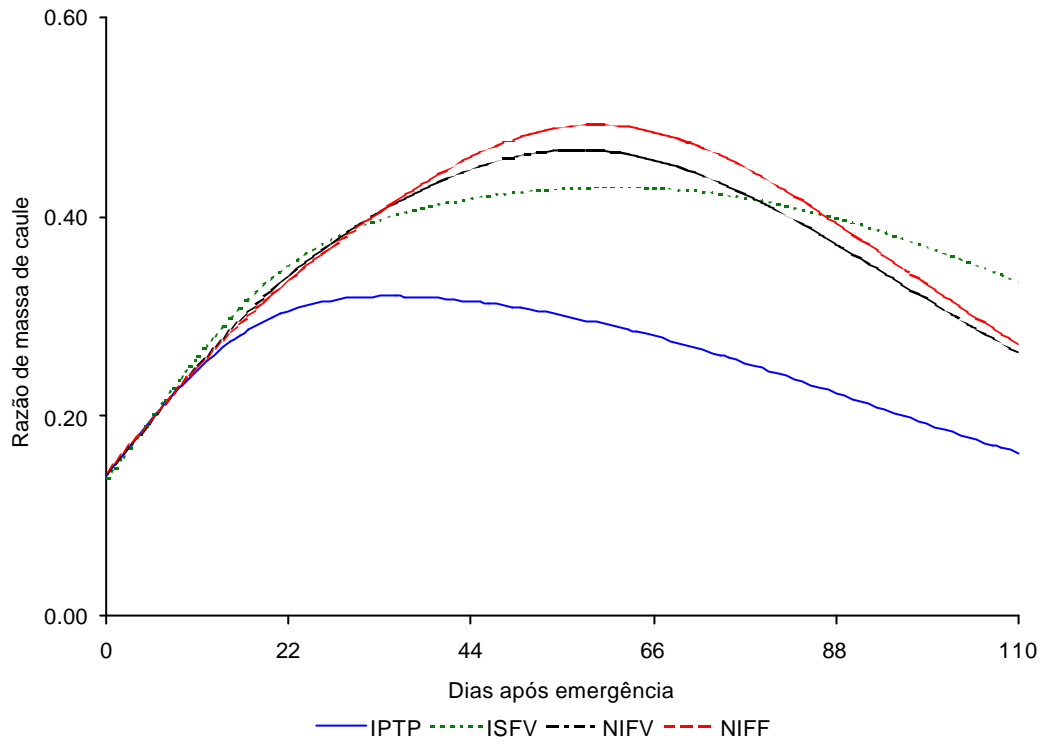


Figura 5.20 – Razão de massa de caule ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

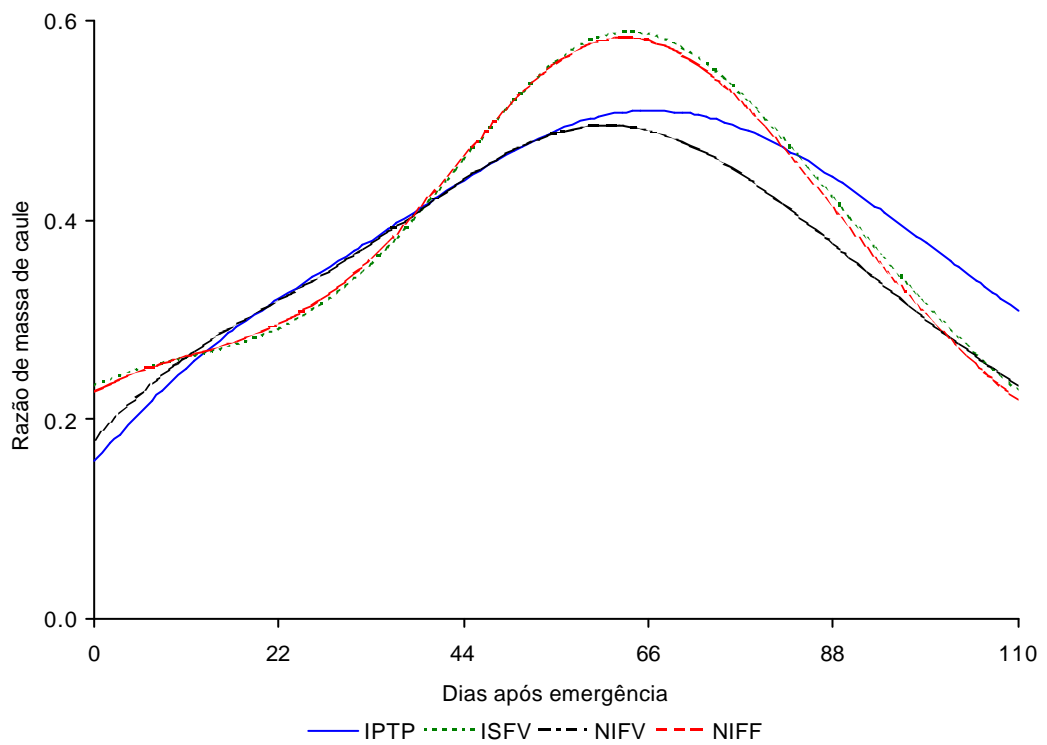


Figura 5.21 – Razão de massa de caule ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

### 5.3.3.3 Comparação entre as razões de massa de cotilédone

A função que melhor ajustou-se aos dados de matéria seca de cotilédone foi a polinomial de terceiro grau (Equação 5.1), cujos parâmetros, encontrados em cada tratamento de cada ensaio, são apresentados no Quadro 5.11.

Quadro 5.11 – Parâmetros do polinômio de terceiro grau ajustado aos dados de massa seca de cotilédone logaritizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	0,9761	-0,2172	0,0225	-0,0012	0,995
	ISFV	0,8428	-0,3174	0,0434	-0,0022	0,983
	NIFV	0,8965	-0,2038	0,0219	-0,0011	0,996
	NIFF	1,0101	-0,2127	0,0211	-0,0011	0,995
1998/99	IPTP	0,7600	-0,2641	0,0257	-0,0010	0,981
	ISFV	0,6799	-0,2383	0,0199	-0,0007	0,986
	NIFV	0,7435	-0,4433	0,0624	-0,0028	0,962
	NIFF	0,8635	-0,4555	0,0633	-0,0029	0,964

A razão de massa de cotilédone, máxima no início do ciclo, declinou de forma semelhante em todos os tratamentos, nos dois experimentos (Figura 5.22 e 5.23).

Em 1997/98, os valores iniciais foram maiores que os valores iniciais obtidos em 1998/99. Tal fato pode ter ocorrido devido à inexistência de dados de matéria seca, para os quatro primeiros dias após a emergência, no ensaio de 1998/99.

No ensaio de 1997/98, o comportamento foi bem semelhante (Figura 5.22), somente sendo diferente estatisticamente IPTP e NIFV; e, NIFV e NIFF, os demais sendo iguais, pelo teste de LEITE & OLIVEIRA (2000), a 5% de probabilidade.

Em 1998/99, houve variação entre os tratamentos, ocasionada pela variância dos dados ajustados em cada tratamento (Figura 5.23).

Em todos os ensaios, a duração máxima do cotilédone foi em torno dos 20 dias, enquanto a mínima observada foi de 14 dias (Figura 17A e 18A).

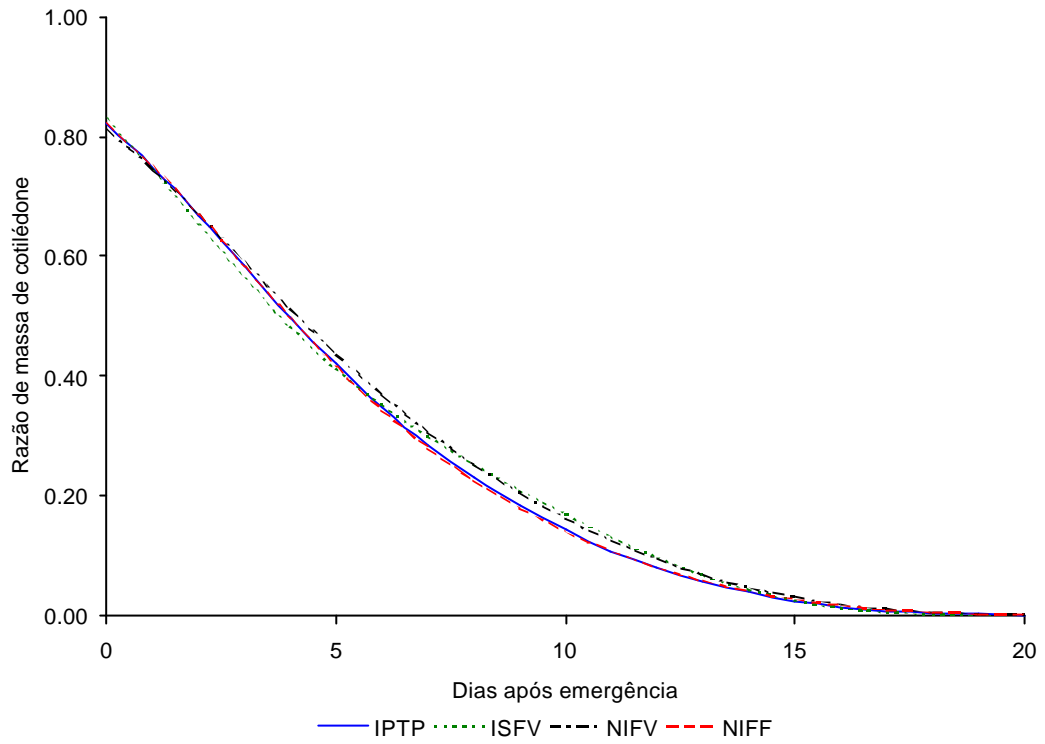


Figura 5.22 – Razão de massa de cotilédone ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

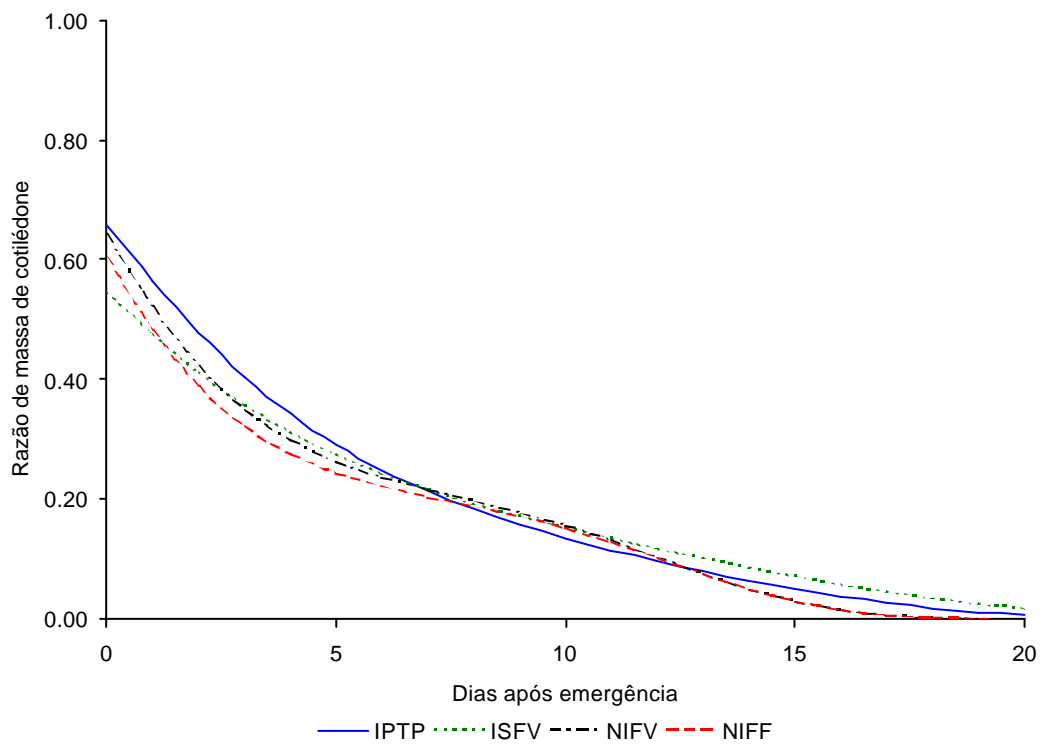


Figura 5.23 – Razão de massa de cotilédone ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

### 5.3.3.4 Comparação entre as razões de massa foliar

Os parâmetros da função racional ajustada aos dados de  $\log_e L_w$  são os do Quadro 5.12.

Quadro 5.12 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de massa seca de folha logaritimizadas dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-2,8775	0,4462	0,0713	-0,0001	0,995
	ISFV	-3,2325	0,4366	0,0815	-0,0001	0,997
	NIFV	-3,0009	0,4285	0,0674	-0,0001	0,994
	NIFF	-2,8755	0,4596	0,0738	-0,0001	0,995
1998/99	IPTP	-0,8105	0,1646	0,0024	0,0002	0,994
	ISFV	-0,1829	0,0642	-0,0173	0,0002	0,980
	NIFV	-0,6319	0,1267	-0,0063	0,0002	0,994
	NIFF	-0,2182	0,0904	-0,0118	0,0002	0,986

A razão de massa foliar, nos dois ensaios, apresentou tendência semelhante, ou seja, aumentando no início do ciclo até um máximo e diminuindo até o final do ciclo (Figura 5.24 e 5.25).

A razão de massa foliar, em 1997/98, apresentou comportamento semelhante em todos os tratamentos. O máximo foi atingido aos 20 DAE pelo IPTP, aos 21 DAE pelo ISFV e NIFV e aos 19 DAE pelo NIFF. Neste ensaio, no ponto de máximo, ISFV apresentou o maior valor, sendo seguido por NIFV, IPTP e NIFF. Na fase de enchimento de grãos, IPTP apresentou os maiores valores, sendo seguido por ISFV, NIFF e NIFV (Figura 5.24). Em uma análise mais detalhada, o ensaio de 1997/98, pode ser dividido em três períodos, ou seja, do início até os 21 DAE, de 21 até os 75 DAE e de 75 até o final. No primeiro período, verifica-se, de forma integrada, que a ordem foi NIFF, IPTP, ISFV e NIFV. No período de 21 até 75 DAE, a ordem foi ISFV, NIFV, IPTP e NIFF; de 75 DAE até o final foi IPTP, ISFV, NIFF e NIFV. Integrando ao longo de todo o ciclo, a ordem foi ISFV, IPTP, NIFF e NIFV.

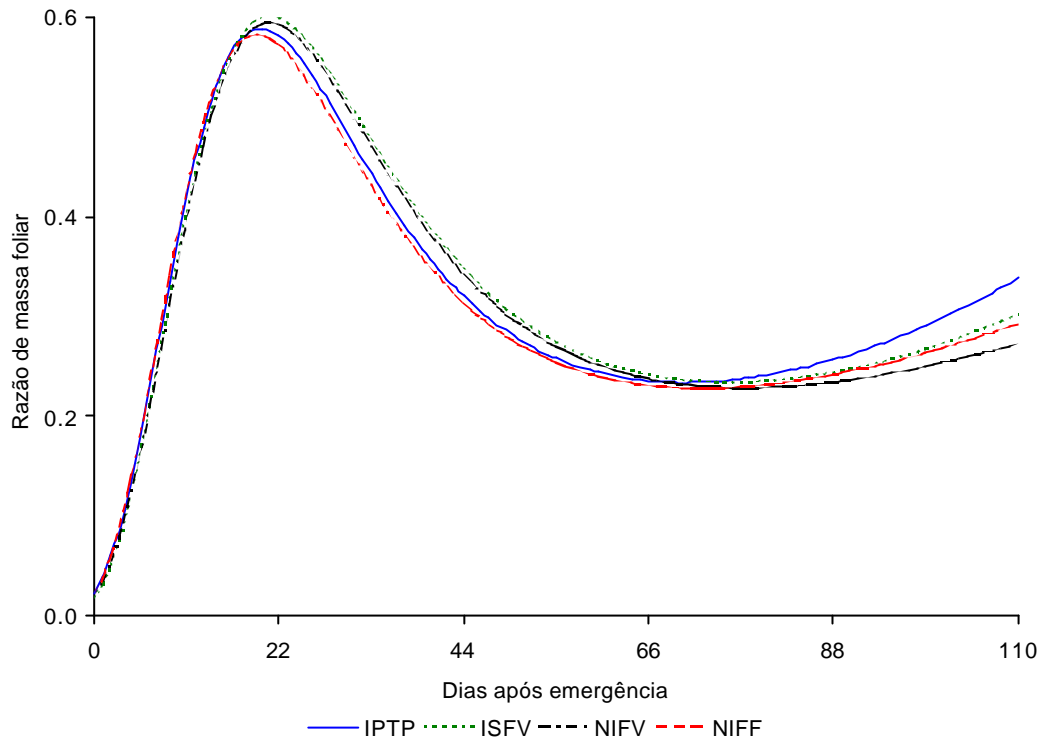


Figura 5.24 – Razão de massa foliar ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

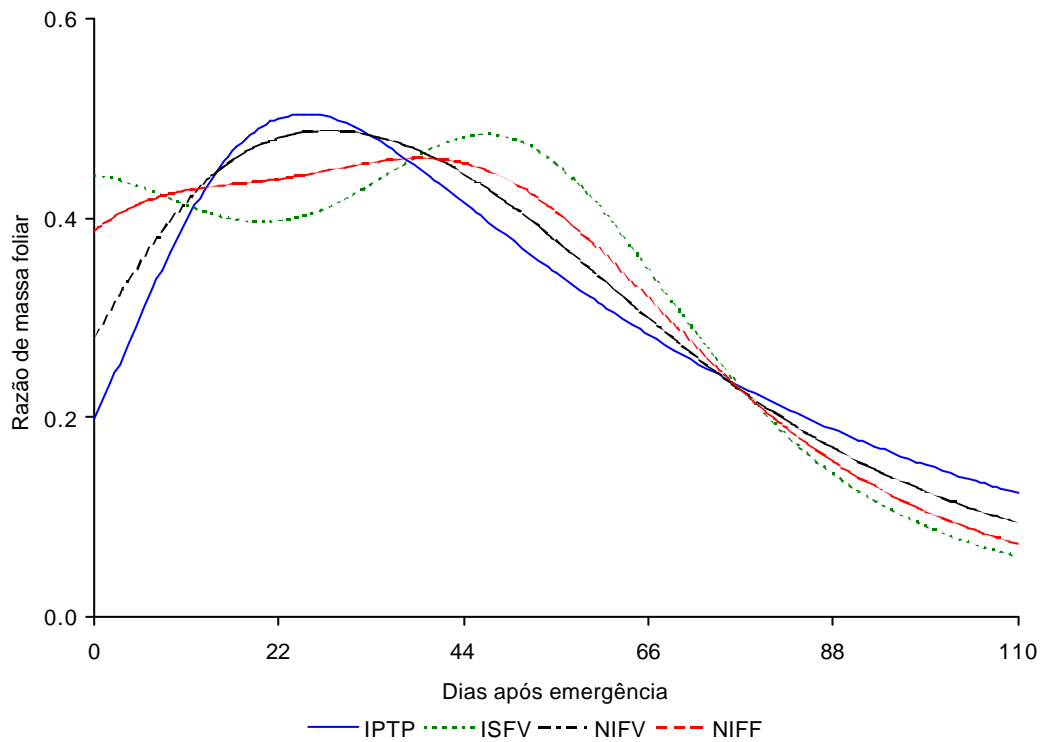


Figura 5.25 – Razão de massa foliar ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

Em 1998/99 (Figura 5.25), o efeito dos tratamentos foi verificado na razão de massa foliar. ISFV apresentou, no início do ciclo, uma razão de massa foliar de 0,44, mas seus valores foram decrescentes do início do ciclo aos 20 DAE, quando iniciou uma ascensão de forma menos intensa que IPTP e NIFV, até alcançar o máximo, tardiamente, aos 47 DAE, data em que cessou o sombreamento. NIFF iniciou com uma alta razão de massa foliar, em torno de 0,39, ao passo que NIFV iniciou com 0,28 e IPTP com 0,20. NIFF não apresentou quedas na razão de massa foliar na fase vegetativa, embora tenha apresentado uma inclinação muito menor para crescimento desse parâmetro do que aquela apresentada por IPTP e NIFV, além de sua data de alcance do ponto máximo estar atrasada, a qual ocorreu aos 39 DAE. IPTP apresentou a maior inclinação para aumento da razão de massa foliar, atingindo o máximo aos 25 DAE. NIFV atingiu o máximo aos 28 DAE. Assim, até os 12 DAE, pode-se dizer que, de forma integrada, ISFV apresentou a maior razão de massa foliar, seguido por NIFF, NIFV e IPTP. Dessa data até os 40 DAE, a ordem de razão de massa foliar foi IPTP, NIFV, NIFF e ISFV. De 40 até 77 DAE, a ordem foi ISFV, NIFF, NIFV e IPTP. De 77 DAE até o final, a ordem foi IPTP, NIFV, NIFF e ISFV. Por fim, integrando ao longo de todo o ciclo, a ordem foi ISFV, NIFF, NIFV e IPTP.

### 5.3.3.5 Comparação entre as razões de massa de flor

A equação utilizada para ajustar os dados de matéria seca da flor logaritimizados foi a Equação 5.4 e os parâmetros encontrados constam no Quadro 5.13.

Quadro 5.13 – Parâmetros do modelo quadrático ajustado aos dados de matéria seca de flor logaritimizados nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		a	b	c	
1997/98	IPTP	-22,7564	0,8091	-0,0066	0,984
	ISFV	-11,0293	0,4023	-0,0033	0,840
	NIFV	-21,7976	0,7764	-0,0063	0,977
	NIFF	-22,2862	0,7975	-0,0065	0,956
1998/99	IPTP	-13,6752	0,4986	-0,0040	0,954
	ISFV	-19,7608	0,7006	-0,0057	0,925
	NIFV	-13,8876	0,5514	-0,0047	0,968
	NIFF	-19,2457	0,7078	-0,0059	0,983

O comportamento da razão de massa de flor foi semelhante em todos os tratamentos, nos dois ensaios, apresentando um ajuste quadrático (Figura 5.26 e 5.27).

$$W_{FL}(t) = a + b \cdot t + c \cdot t^2 \quad (5.4)$$

em que

$W_{FL}(t)$  = matéria seca de flores ( $\text{g m}^{-2}$ );

t = tempo ou dias após a emergência (dia); e

a, b, c, = parâmetros da equação (Quadro 5.5).

Em 1997/98, a ordem de razão de massa da flor foi ISFV, NIFV, NIFF e IPTP (Figura 5.26).

Em 1998/99, esta ordem foi NIFV, ISFV, NIFF e IPTP (Figura 5.27).

Nos dois ensaios se observou, de forma geral, um aumento na proporção de matéria seca direcionada para flores nos tratamentos estressados. Sendo os tratamentos que maior proporção de matéria seca recebeu para flores o ISFV e o NIFV. Isto contudo não representa que tenha implicado em um maior número de flores.

### 5.3.3.6 Comparação entre as razões de massa de vagem

A função racional foi a equação ajustada aos dados de matéria seca de vagem logaritmizados, sendo que os parâmetros obtidos constam no Quadro 5.14.

Quadro 5.14 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de massa seca de vagem logaritmizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-28,2722	0,5471	-0,0264	0,0007	1,0000
	ISFV	-34,4594	0,5719	-0,0539	0,0009	1,0000
	NIFV	-31,2688	0,5521	-0,0502	0,0009	1,0000
	NIFF	-30,0716	0,5423	-0,0514	0,0009	1,0000
1998/99	IPTP	-52,3855	0,9045	-0,0658	0,0013	0,995
	ISFV	-31,1833	0,5211	-0,0521	0,0009	0,994
	NIFV	-31,7766	0,5557	-0,0489	0,0009	0,998
	NIFF	-28,1978	0,4956	-0,0506	0,0008	0,997

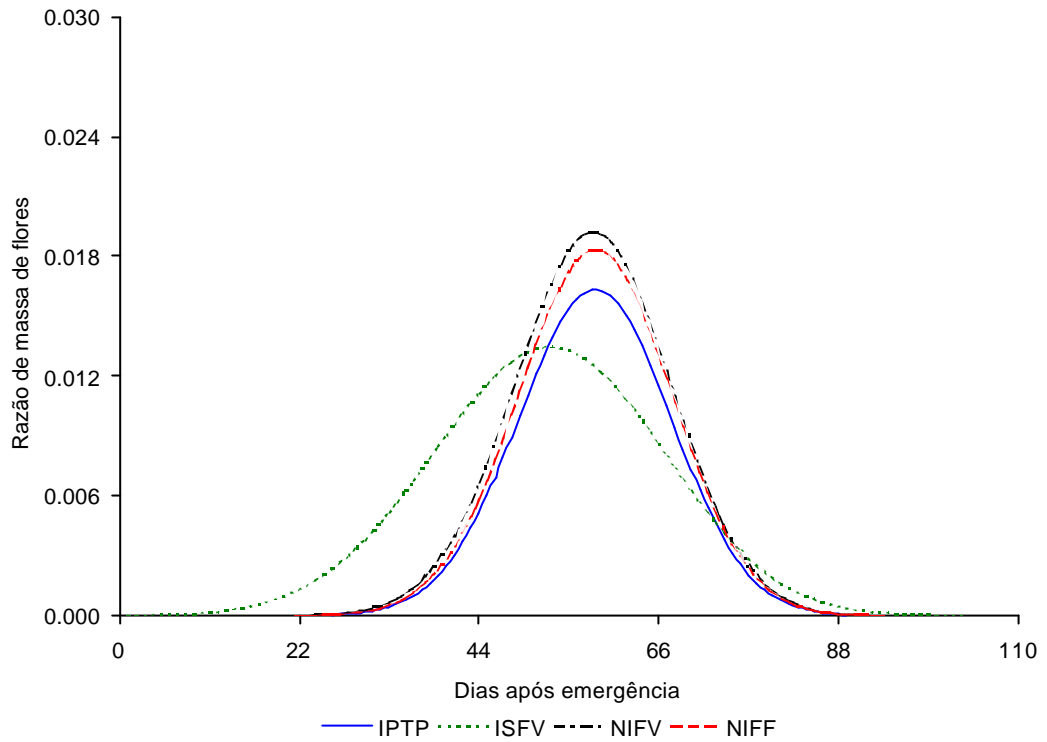


Figura 5.26 – Razão de massa de flor ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

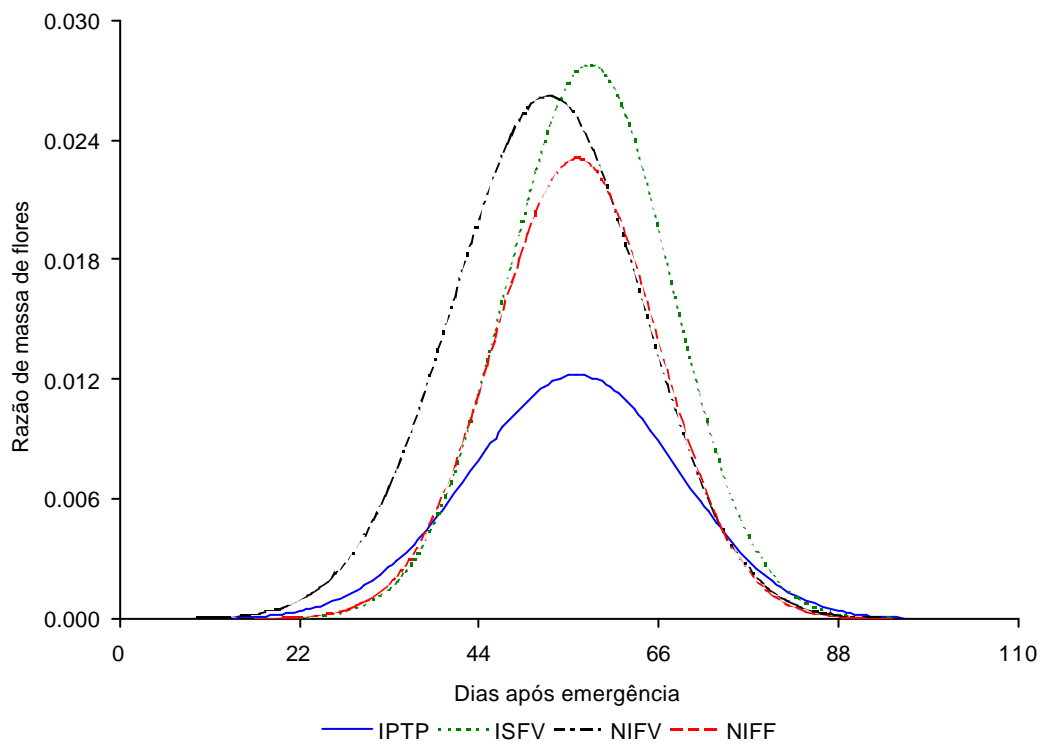


Figura 5.27 – Razão de massa de flor ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

O comportamento da razão de massa de vagem foi semelhante em todos os tratamentos, nos dois ensaios (Figura 5.28 e 5.29). Em 1997/98, os tratamentos alcançaram o máximo em diferentes datas, isto é, IPTP aos 91 DAE, ISFV aos 89 DAE, NIFV aos 85 DAE e NIFF aos 83 DAE. A ordem neste ensaio foi ISFV, NIFF, NIFV e IPTP.

Em 1998/99, IPTP atingiu o máximo aos 86 DAE, ISFV aos 89 DAE, NIFV aos 87 DAE e NIFF aos 83 DAE. Neste ensaio, a ordem foi NIFF, NIFV, IPTP e ISFV.

Nos dois anos, houve coincidência nas datas de alcance do ponto máximo de partição para vagem, embora ocorrendo diferenças no comprimento do ciclo e número de amostragens feitas. Em 1998/99, houve aumento da razão de massa da vagem para IPTP, NIFV e NIFF.

### 5.3.3.7 Comparação entre as razões de massa de grãos

A função racional foi a equação ajustada aos dados de matéria seca de grãos logaritimizados, sendo que os parâmetros obtidos são apresentados no Quadro 5.15.

Quadro 5.15 – Parâmetros da função racional ajustada aos dados de massa seca de grãos logaritimizados dos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	-39,5208	0,6144	-0,0271	0,0005	1,0000
	ISFV	-44,3632	0,6441	-0,0489	0,0008	1,0000
	NIFV	-36,0186	0,5413	-0,0574	0,0008	1,0000
	NIFF	-38,3846	0,6056	-0,0283	0,0006	1,0000
1998/99	IPTP	-31,3555	0,4682	-0,0318	0,0005	0,994
	ISFV	-23,2667	0,3257	-0,0321	0,0004	0,982
	NIFV	-32,8056	0,4886	-0,0349	0,0005	0,997
	NIFF	-34,2030	0,5158	-0,0496	0,0007	0,995

Como na razão de massa de vagem, o comportamento foi semelhante nos tratamentos, nos dois ensaios (Figura 5.30 e 5.31). No ensaio de 1997/98, os tratamentos alcançaram o máximo na seguinte ordem: IPTP aos 110 DAE, ISFV aos

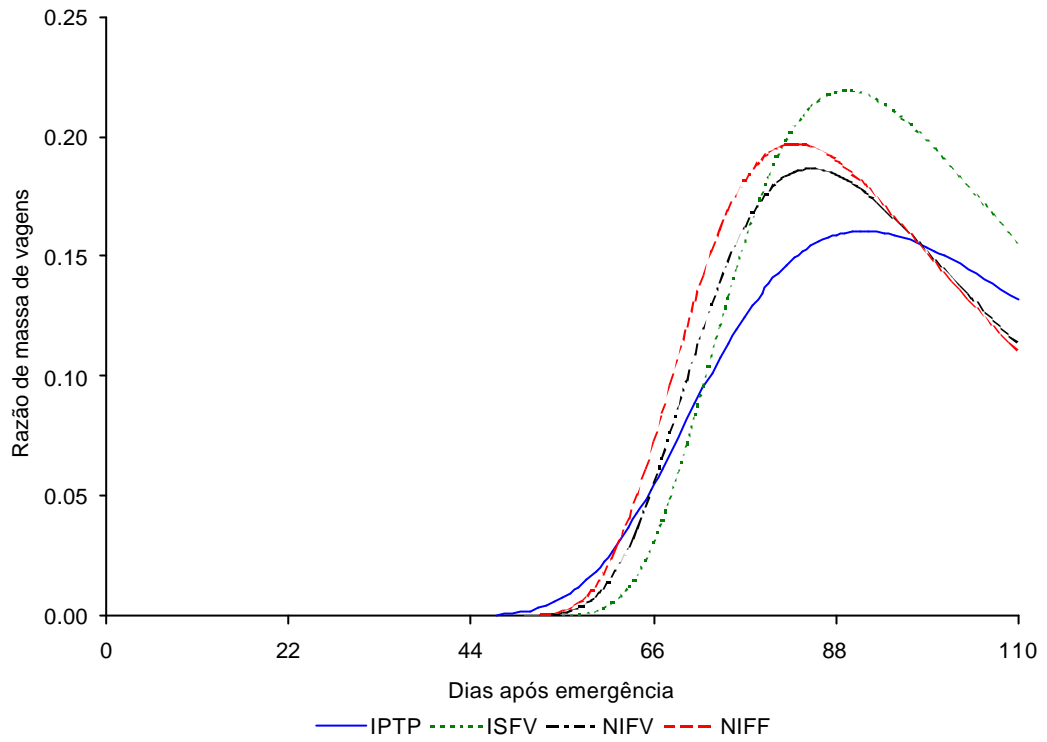


Figura 5.28 – Razão de massa de vagem ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

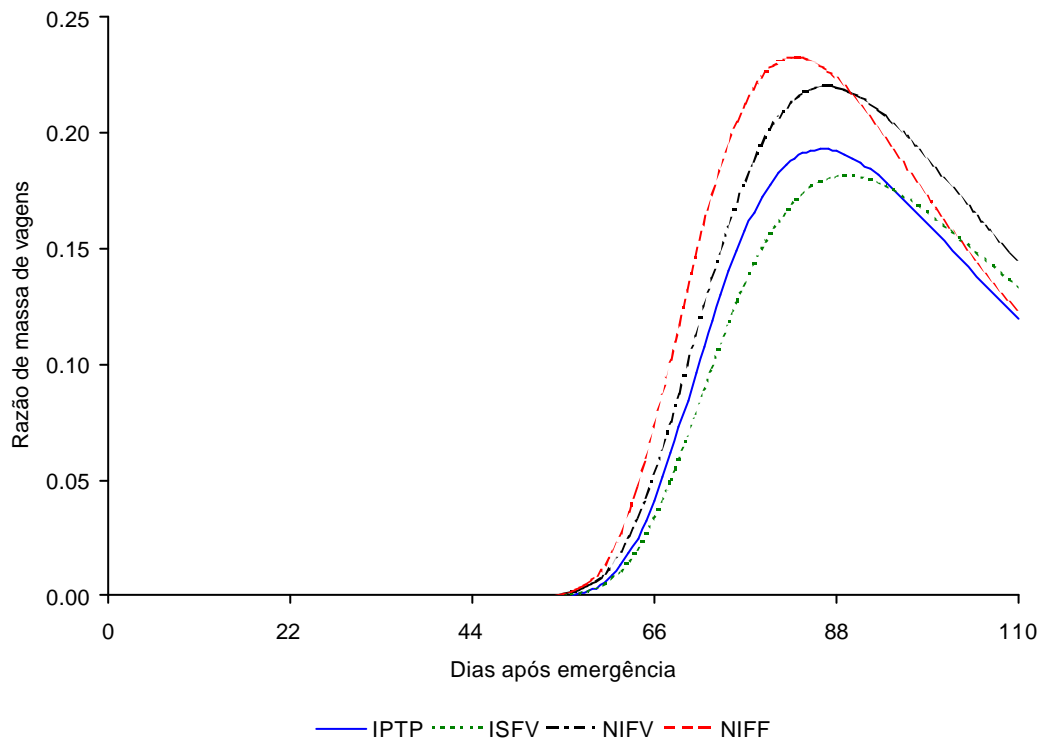


Figura 5.29 – Razão de massa de vagem ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

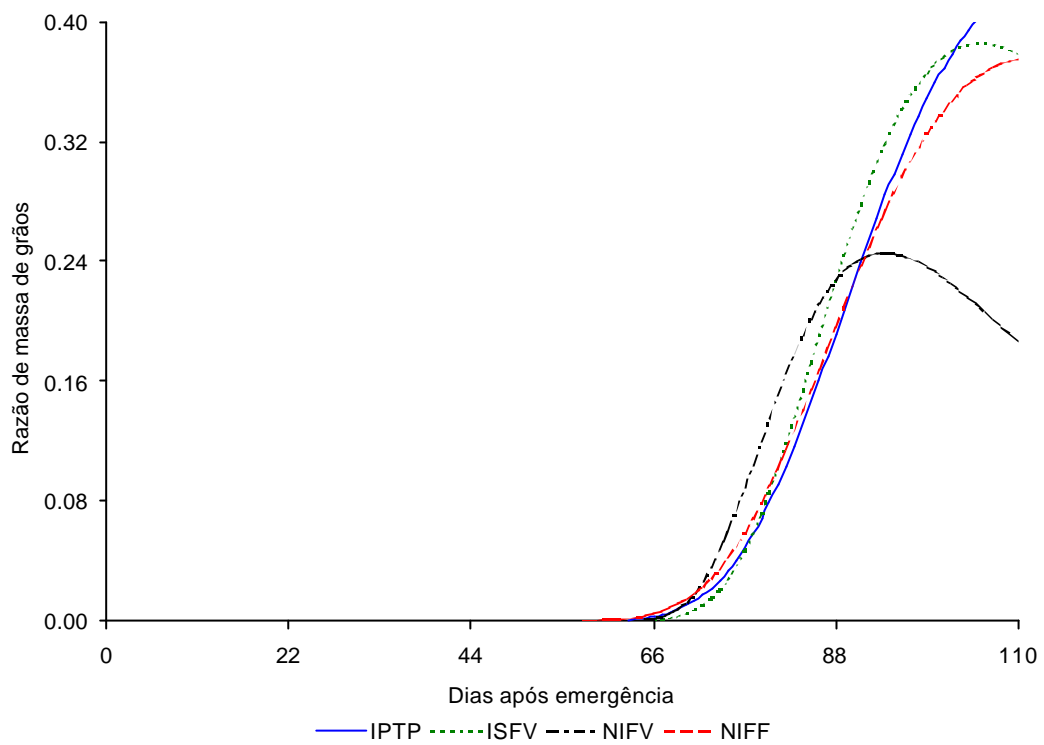


Figura 5.30 – Razão de massa de grãos ao longo da estação de cultivo de 1997/98.

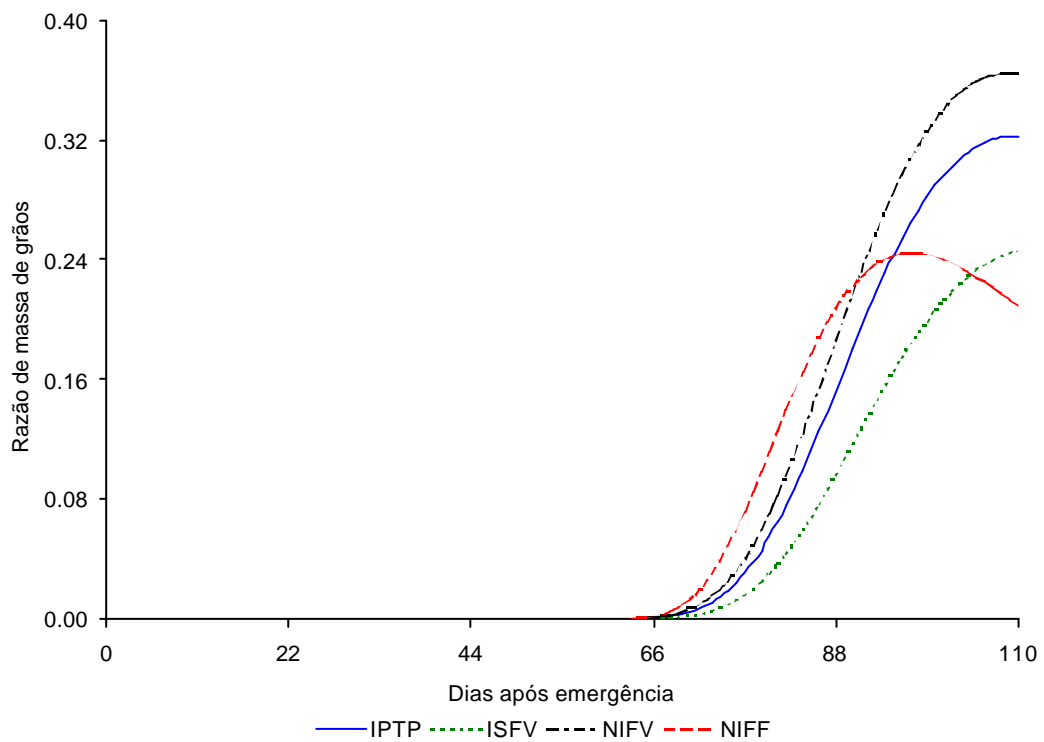


Figura 5.31 – Razão de massa de grãos ao longo da estação de cultivo de 1998/99.

105 DAE, NIFV aos 94 DAE, NIFF aos 110 DAE. Nesse ano, a ordem de partição, de modo decrescente, foi ISFV, IPTP, NIFF e NIFV. No ensaio de 1998/99, as datas de alcance do ponto máximo foram IPTP e ISFV aos 110, NIFV aos 109 e NIFF aos 97 DAE, enquanto a ordem foi NIFV, IPTP, NIFF e ISFV.

No ensaio de 1998/99, o aumento na razão de massa de grãos ocorreu somente para NIFV.

KOLLER (1971) analisou cada fração da planta de soja, dividindo-a em quatro porções, isto é, superior, intermediária e inferior da haste principal e a parte ramificada. A haste principal, em sua porção inferior e média, acumula a maior parte da matéria seca total, mas somente 36 % desta irá compor as sementes. Já nos ramos e na parte superior da haste principal, embora com menor quantidade de matéria seca, 47% vão compor as sementes. A contribuição dos fatores ambientais para esta diferença de partição da matéria seca é, ainda, desconhecida. A diferença dessa magnitude, contudo, indica que a matéria seca repartida dentro da planta de soja, qualquer que seja o mecanismo controlador, pode influenciar fortemente a produção econômica.

Quanto à preferência definitiva da partição de fotoassimilados para o dreno sementes, HESLOP-HARRISON (1969) deduziu que o crescimento vascular é acentuado nas vagens e é promovido pelas auxinas, o que facilita o fluxo de nutrientes e água para as vagens, aumentando seu poder competitivo, em relação aos outros órgãos. Durante o desenvolvimento, as sementes de soja mantêm alto nível de ácido abscísico (ABA) (QUEBEDEAUX et al., 1976). Em adição, foi sugerido, recentemente, que o ABA facilitaria a descarga da sacarose do floema para dentro dos tecidos drenos (GBIKPI & CROOKSTON, 1981).

#### **5.4 Coeficiente alométrico raiz-parte aérea**

O coeficiente alométrico (K) é um índice do balanço de crescimento entre os componentes de raiz e da parte aérea da planta integrados em um período de tempo. Efetivamente é a razão entre as taxas de crescimento relativo médio de raiz e da parte aérea (CAUSTON & VENUS, 1981).

Para os ensaios de 1997/98 e 1998/99, o coeficiente alométrico não apresentou grandes variações (Quadro 5.16), embora tenha se mostrado sempre maior para o período vegetativo, em 1997/98. No período reprodutivo, em 1997/98, K foi maior

Quadro 5.16 – Valores do coeficiente alométrico, K, e do coeficiente b para as fases vegetativa e reprodutiva nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) nos ensaios realizados durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	Fase	K	b	r <sup>2</sup>
1997/98	IPTP	vegetativa	1,0374	0,1987	0,924
		reprodutiva	0,1599	1,6155	0,798
	ISFV	vegetativa	0,9986	0,1827	0,905
		reprodutiva	0,5193	0,3486	0,792
	NIFV	vegetativa	1,0017	0,1897	0,924
		reprodutiva	0,0421	2,1533	0,005
	NIFF	vegetativa	1,0167	0,1945	0,916
		reprodutiva	0,4314	0,5069	0,541
1998/99	IPTP	vegetativa	0,8507	0,2206	0,975
		reprodutiva	0,1950	1,8018	0,234
	ISFV	vegetativa	0,9018	0,2254	0,967
		reprodutiva	0,3988	0,8549	0,852
	NIFV	vegetativa	0,9296	0,2050	0,994
		reprodutiva	0,2083	1,4478	0,235
	NIFF	vegetativa	0,9005	0,2140	0,970
		reprodutiva	0,6183	0,2994	0,814

somente no tratamento ISFV. O período reprodutivo começou aos 64 e 65 DAE, para 1997/98 e 1998/99, respectivamente. O ajuste foi sempre pior para o período reprodutivo, possivelmente, devido ao pequeno número de pontos. Quando K apresentou-se com valor muito baixo, ocorreu compensação com um valor elevado do parâmetro b.

No período reprodutivo, o coeficiente alométrico sofreu forte diminuição, em relação ao período vegetativo, em todos os tratamentos (Quadro 5.16 e Figura 5.32).

Isto era esperado porque, na cultura de soja, a raiz interrompe o crescimento no início da fase de enchimento de grãos.

Não foi observado efeito de tratamento sobre o coeficiente alométrico de forma mais clara, mostrando que as taxas médias de crescimento relativo tanto da parte aérea como da parte radicular ocorrem de maneira igual na planta e que os tratamentos não alteraram esta relação.

Este comportamento também é observado em outras culturas, como o verificado em *Italian ryegrass* por Troughton (1956), citado por Hunt (1990).

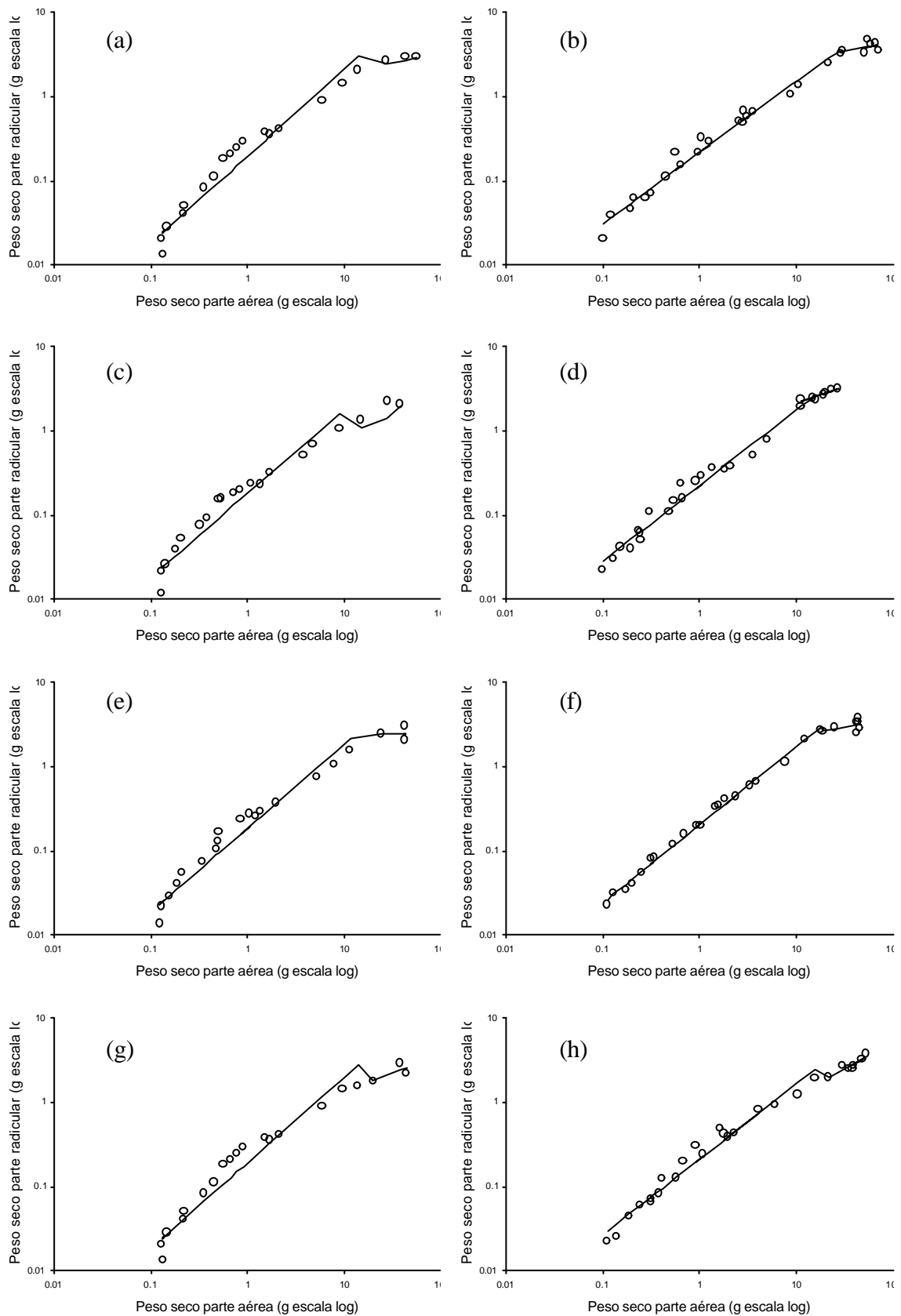


Figura 5.32 – Alometria da raiz-parte aérea na fase vegetativa e reprodutiva da cultura de soja nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

## **5.5 Resumo e conclusões**

Neste capítulo, analisaram-se as taxas de acúmulo de matéria seca de raiz, caule, cotilédone, folha, flor, vagem e grão, bem como a ordem de drenos preferenciais, partição de fotoassimilados e alometria raiz parte aérea.

Os tratamentos sob estresse na fase vegetativa tiveram suas taxas de produção de matéria seca dos órgãos vegetativos afetadas, negativamente; entretanto, os órgãos reprodutivos, vagens e grãos, foram afetados de forma diferenciada. Enquanto a taxa de produção de vagens foi afetada, somente, no tratamento sombreado na fase vegetativa, a taxa de produção de matéria seca de grãos foi afetada nos tratamentos estressados na fase vegetativa por falta de luz (ISFV) e na fase de florescimento por falta de água (NIFF). No tratamento NIFV, as taxas de produção de matéria seca de vagens e grãos não foram afetadas. Assim, conclui-se que o estresse hídrico na fase vegetativa não traz prejuízos às taxas de crescimento de órgãos reprodutivos, enquanto o contrário ocorre com o estresse por sombreamento, no grau em que foi aplicado, na fase vegetativa e o estresse hídrico na fase de florescimento.

A ordem de distribuição de fotoassimilados ao longo do ciclo varia de acordo com as transformações morfológicas da planta, independentemente do tratamento aplicado.

O comportamento da cultura foi o mesmo quanto à partição de fotoassimilados, embora as proporções tenham sido afetadas pelos tratamentos.

O coeficiente alométrico (K) não apresentou grandes variações, embora tenha se mostrado sempre maior para o período vegetativo. No período reprodutivo, o coeficiente alométrico sofreu forte diminuição, em relação ao período vegetativo, em todos os tratamentos, conforme esperado, uma vez que, na cultura de soja, a raiz interrompe o crescimento no início da fase de enchimento de grãos.

## **5.6 Estudos futuros**

Há necessidade de verificação dos componentes da biomassa e da respiração de crescimento, nos diversos órgãos, ao longo do ciclo da cultura, objetivando uma modelagem mais precisa do crescimento da cultura de soja.

## **6. INTERCEPTAÇÃO E EFICIÊNCIA DE USO DA RADIAÇÃO**

### **6.1 Radiação interceptada**

#### **6.1.1 Introdução**

Nos capítulos anteriores foram mostrados resultados do crescimento da cultura de soja nos diversos tratamentos aplicados nos dois ensaios conduzidos neste trabalho. Até aqui trabalhamos utilizando a análise de crescimento tradicional, a qual freqüentemente mascara a influência das variáveis ambientais sobre a taxa de crescimento das culturas (RUSSELL et al., 1989; GOUDRIAAN & MONTEITH, 1990).

Neste capítulo, é feita uma análise sobre a produção de matéria seca, em relação à quantidade de radiação solar interceptada e à eficiência de conversão da radiação em matéria seca, baseando-se na suposição de que o crescimento é um processo de transformação de energia, em que a energia luminosa recebida é transformada em energia química para as culturas, ou seja, a taxa de crescimento é proporcional à quantidade de radiação solar interceptada pelas culturas (MONTEITH, 1977; GALLAGHER & BISCOE, 1978; HAY & WALKER, 1989).

A seguir, são descritos os conceitos de radiação transmitida, radiação interceptada e radiação absorvida.

#### **6.1.1.1 Radiação transmitida**

É determinada pela quantidade de radiação que atinge a superfície do solo através dos espaços no dossel e, ou transmitida através das folhas. Quando determinada

fracionalmente, é a razão entre a quantidade de radiação que atinge a superfície do solo e a radiação incidente sobre o dossel.

### 6.1.1.2 Radiação interceptada

É a diferença entre aquela que incide na superfície do dossel e aquela transmitida através do dossel. Fracionalmente, é a diferença entre a unidade e a fração de radiação transmitida.

### 6.1.1.3 Radiação absorvida

A radiação incidente sobre um dossel pode ser absorvida pelo dossel ( $f$ ), transmitida através do dossel ( $t$ ) e absorvida ( $f_s$ ) ou refletida na superfície do solo ( $r_s$ ), ou ainda refletida pelo dossel ( $r$ ). A princípio, somente a PAR absorvida pelo dossel é utilizada na produção de matéria seca; assim,  $f$  é a fração de radiação absorvida pelas plantas. Assim, se  $t$  é a fração de radiação incidente transmitida pelo dossel,  $r$  a fração de radiação incidente refletida para um sensor acima do dossel, e  $r_s$  a reflectância da superfície do solo, assim, a fração de radiação absorvida ( $f$ ) pode ser calculada a partir da seguinte equação:

$$f = 1 - t - r + t \cdot r_s \quad (6.1)$$

Neste estudo, a radiação absorvida foi considerada como sendo igual à radiação interceptada

$$f = 1 - t \quad (6.2)$$

Isso foi feito devido ao fato de que o erro decorrente desta aproximação é geralmente pequeno, quando  $t$ ,  $r$  e  $r_s$  são medidos na banda de comprimento de ondas PAR, porque se considera que a maioria da PAR é absorvida pelo dossel. Em uma estimativa de primeira ordem do erro, assume-se que  $r = (1 - t) \cdot r_C + t \cdot r_s$ , em que  $r_C$  é a reflectância da vegetação. Assim, a equação (6.1) torna-se

$$f = (1 - t) \cdot (1 - r_C) \quad (6.3)$$

O erro resultante do emprego da equação 6.2 é aproximadamente igual à  $r_C$ , o qual é tipicamente menor que 0,05 na banda PAR (GATES, 1965).

Como, neste trabalho, as medidas de radiação no dossel foram feitas por um ceptômetro, que registra apenas a radiação fotossinteticamente ativa (PAR) na banda

entre os comprimentos de onda de 400 e 700 nanômetros (nm), a suposição acima é válida. Assim, consideramos a radiação PAR interceptada pela cultura como sendo, aproximadamente, igual à radiação PAR absorvida.

### **6.1.2 Percentagem de radiação interceptada**

A percentagem de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ( $f$ ) foi medida ao longo do ciclo da cultura, sendo iniciada em 1997/98, aos 13 dias após a semeadura (DAS) e em 1998/99 aos 31 DAS. Aos dados de percentagem de radiação interceptada foi ajustado um modelo logístico, cujos parâmetros encontram-se no Quadro 6.1 (Figuras 6.1 e 6.2). Para o ajuste do modelo, consideraram-se apenas as medidas realizadas até 95 DAE, data esta considerada limite para o cálculo da eficiência do uso da radiação (RUE). Este limite foi determinado, considerando-se que após 95 DAE, a cultura já se encontra em uma fase muito próxima a R8, quando a fotossíntese já não tem grande importância para as plantas e, assim, a interceptação da luz passa a ter pouca influência na formação de matéria seca, sendo a translocação de assimilados de outras partes da planta fator mais importante (EGLI & LEGGETT, 1985; HANWAY & WEBER, 1971).

O comportamento da cultura em todos os tratamentos, ao longo do ciclo, em relação à quantidade de radiação interceptada, foi semelhante. Em 1997/98, NIFF apresentou uma interceptação maior que os demais tratamentos, até os 37 DAE, mostrando, a partir desta data, em diversas amostragens, valores inferiores aos demais. Este comportamento coincide com o período em que o NIFF permaneceu sob efeito do tratamento, ou seja, sem irrigação (Figura 6.1 (a) e (b)). Os tratamentos IPTP, ISFV e NIFV apresentaram valores muito próximos entre si, embora NIFV apresentasse, do início do ciclo até os 30 DAE, valores de percentagem de interceptação menores que os demais. ISFV apresentou pontos com valores mais baixos que os demais no final da fase vegetativa e início da fase de florescimento. IPTP, ISFV, NIFV e NIFF apresentaram, como valores máximos obtidos pelo modelo ajustado, 94,78, 93,17, 93,57 e 93,16%, respectivamente. A média entre cinco valores, medidos após 70 DAE, foi 97,75, 97,79, 97,53 e 96,65% para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente, demonstrando que o modelo subestimou os valores máximos de percentagem de interceptação em torno de 4%, no ensaio de 1997/98. Sendo, que o NIFF apresentou um IAF menor que IPTP

Quadro 6.1 – Parâmetros do modelo logístico ajustado aos dados de percentagem de radiação solar interceptada até 95 DAE nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros			r
		A	b	k	
1997/98	IPTP	97,7918	71,1987	0,1337	0,997
	ISFV	96,9740	53,0927	0,1274	0,991
	NIFV	96,6189	82,2473	0,1370	0,998
	NIFF	95,5231	32,1237	0,1303	0,991
1998/99	IPTP	97,4636	41,2761	0,1150	0,994
	ISFV	95,3541	23,3568	0,0892	0,987
	NIFV	100,8664	23,6938	0,0894	0,990
	NIFF	98,3835	46,9527	0,1188	0,996

(Capítulo 4), a causa para que NIFF tenha apresentado maiores percentagens de interceptação de radiação na fase vegetativa pode ter sido o fato de nesta fase, NIFF estar coberto com polietileno transparente, o qual foi uma barreira para 24,43% da PAR (ver Figura 3.17 do Capítulo 3). A este fato, pode-se acrescentar que o experimento foi conduzido em um ano de “el niño” com temperaturas médias mais altas. Estes fatos podem ter levado o tratamento IPTP a permanecer com suas folhas mais paralelas aos raios solares e, portanto, interceptando menos radiação, o contrário ocorrendo com NIFF na “sombra”.

Em média, na fase vegetativa, IPTP interceptou 26%, ISFV 21% e NIFV 31% menos radiação do que NIFF.

Na fase de florescimento, ISFV e NIFV apresentaram, em média, uma redução de 1% em relação a IPTP e NIFF apresentou uma redução de 2% em relação ao mesmo tratamento. Portanto, NIFF que tinha uma interceptação de 26% a mais que IPTP passou a interceptar menos do que este. ISFV e NIFV recuperam-se, passando a interceptar percentagens muito próximas ao tratamento irrigado.

No ciclo todo, IPTP e ISFV interceptaram 6% menos que NIFF. NIFV interceptou 7% menos que NIFF, ao longo de todo o ciclo.

No ensaio conduzido em 1998/99, ano em que as condições climáticas transcorreram dentro da normalidade, os resultados de interceptação da radiação foram mais coerentes com os tratamentos aplicados (Figura 6.2 (a) e (b)). Na fase vege-

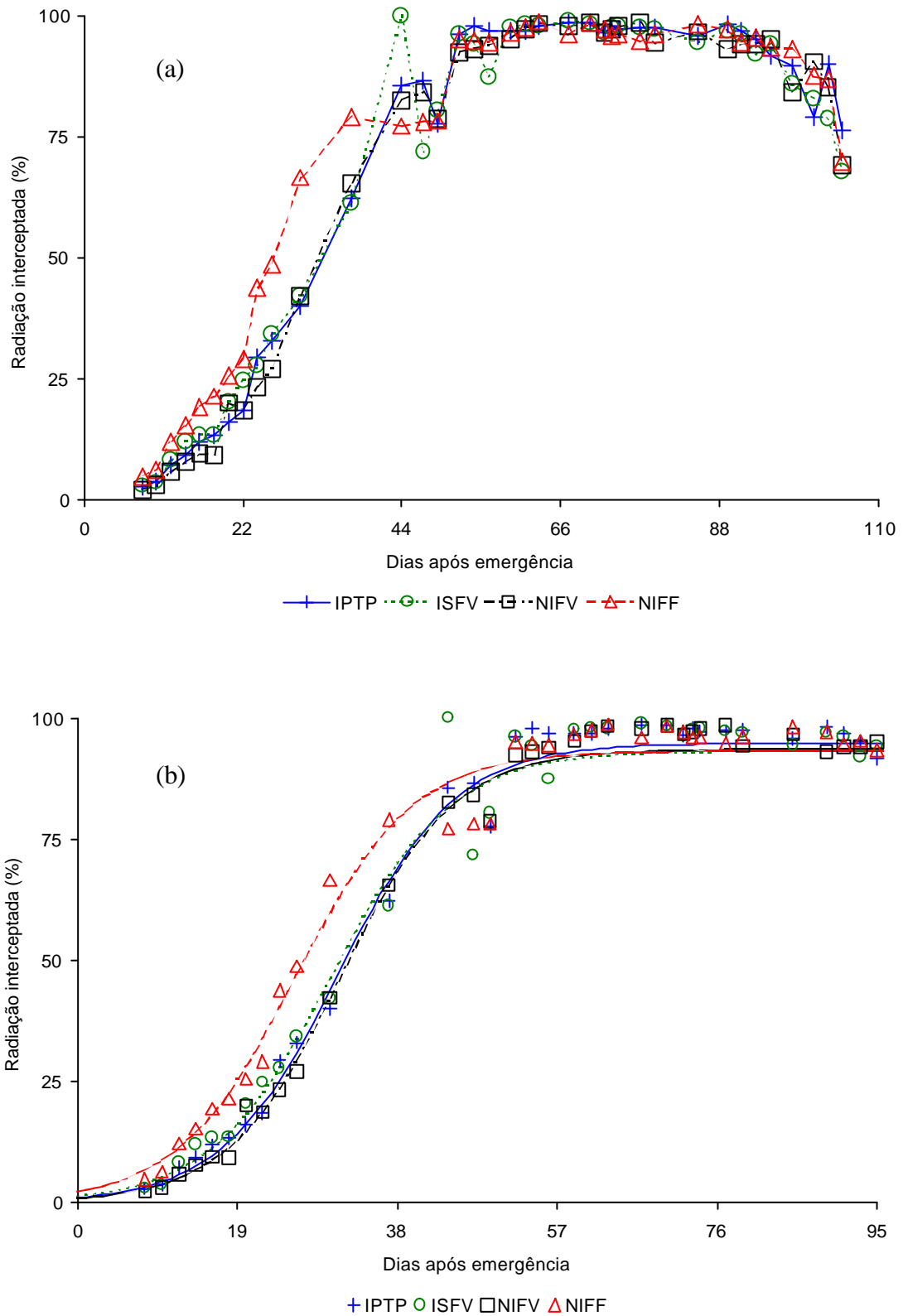


Figura 6.1 – Variação sazonal da radiação interceptada nos diversos tratamentos (a) e ajuste do modelo logístico aos dados, até 95 DAE (b), no ensaio de 1997/98.

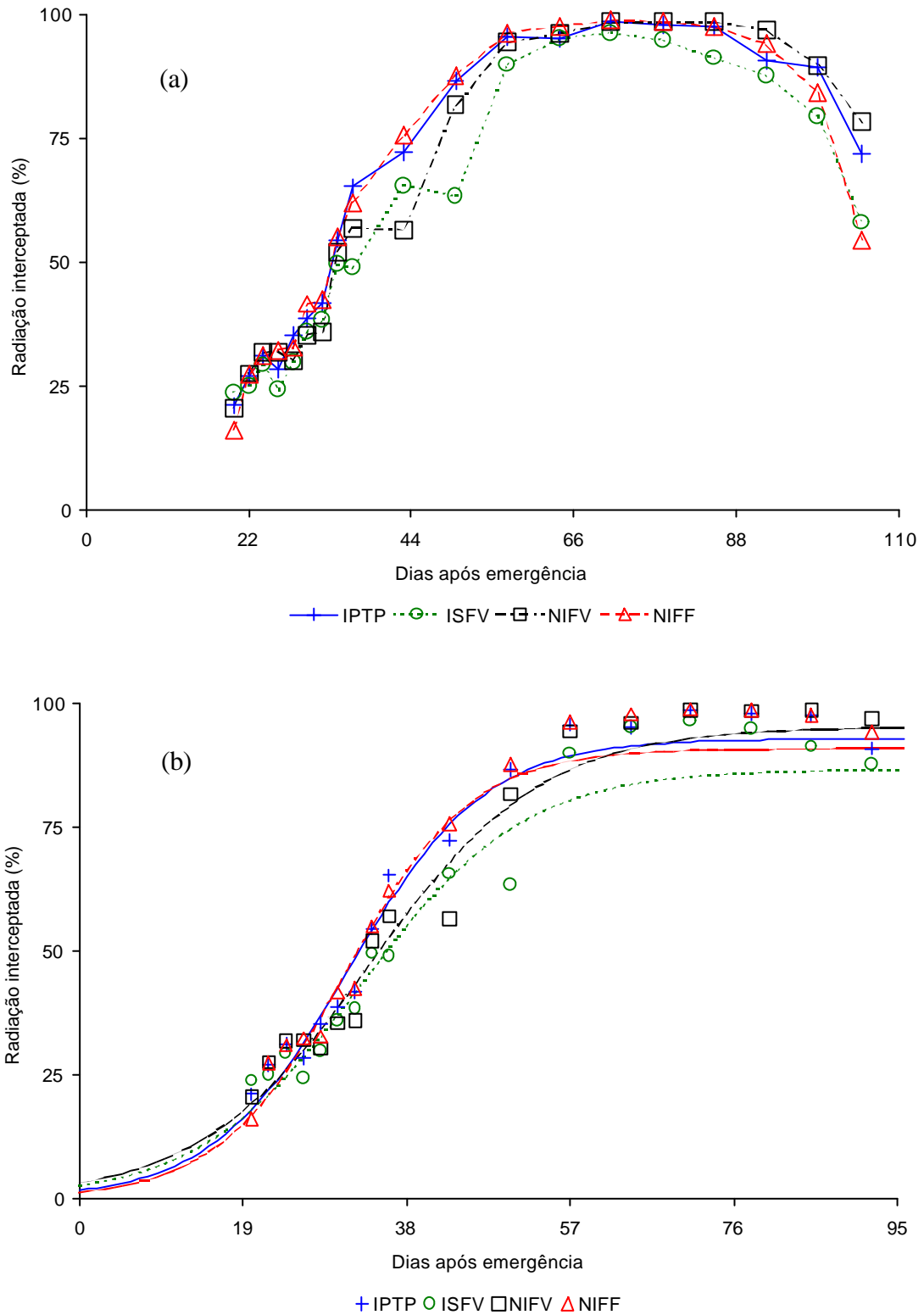


Figura 6.2 – Variação sazonal da radiação interceptada nos diversos tratamentos (a) e ajuste do modelo logístico aos dados, até 95 DAE (b), no ensaio de 1998/99.

tativa ISFV e NIFV apresentaram os menores valores de interceptação da radiação, enquanto IPTP e NIFF apresentaram valores bem próximos, comportamento este que perdurou por todo o ciclo.

Na fase vegetativa, em média, ISFV reduziu em 14% a percentagem de interceptação da radiação, em relação a IPTP, e NIFV reduziu 8%.

Na fase de florescimento, ISFV continuou com a maior perda, apresentando um valor de 8% menos que IPTP, enquanto NIFV apresentou uma perda de apenas 2%.

O período de máxima interceptação ocorreu, quando o dossel encontrava-se no seu ponto de máximo índice de área foliar, ou seja, em torno de 70 DAE. Os valores máximos de IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, obtidos pelos modelos ajustados foram 92,70, 86,40, 94,88 e 90,66%, respectivamente e ocorreram aos 95 DAE. As médias entre quatro valores, medidos após 63 DAE, foram 97,24, 94,29, 97,83 e 98,05% para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente, demonstrando que o modelo subestimou os valores máximos de percentagem de interceptação em 5, 8, 3 e 7% para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente, no ensaio de 1998/99.

No ciclo total, ISFV apresentou uma queda de 9% na interceptação, em relação a IPTP, e NIFV uma queda de apenas 3%. NIFF mostrou-se tão eficiente quanto IPTP, quanto à interceptação.

Comparando a interceptação da radiação entre os tratamentos, nos dois anos (Figura 6.3), constata-se que o comportamento desta seguiu aquele do índice de área foliar (Figuras 4.9 e 4.10, Capítulo 4). Dessa forma, como em IPTP, o índice de área foliar praticamente não variou entre os dois anos, o mesmo ocorrendo com a interceptação de radiação (Figura 6.3 (a)). Em 1997/98, ISFV apresentou um IAF superior àquele observado em 1998/99, o que culminou com maior interceptação de radiação no primeiro ensaio (Figura 6.3 (b)). O mesmo ocorreu com NIFV, que apresentou um IAF um pouco superior, em 1997/98, e conseqüentemente maior interceptação de luz solar (Figura 6.3 (c)). Em 1997/98, o tratamento NIFF apresentou um IAF com alta taxa de crescimento, durante a fase vegetativa, ao contrário do ocorrido em 1998/99. O mesmo refletiu-se na interceptação de radiação (Figura 6.3 (d)).

No NIFV, os valores de interceptação de radiação, na fase vegetativa, foram menores do que aqueles observados por COSTA et al. (1999), que verificaram uma diminuição de 45%. Os demais tratamentos apresentaram valores coerentes com os

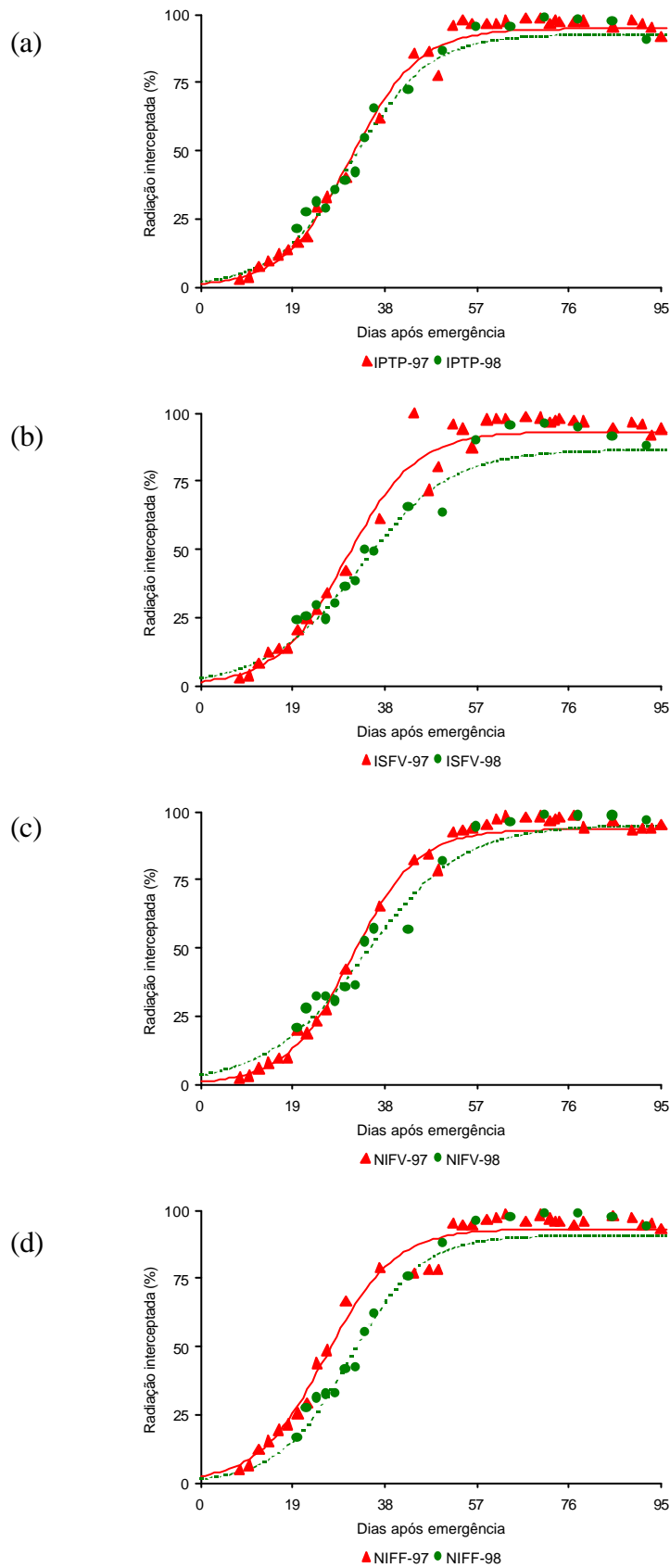


Figura 6.3 – Variação sazonal da radiação interceptada nos diversos tratamentos e ajuste do modelo logístico aos dados, até 95 DAE, nos ensaios de 1997/98 (triângulo preenchido) e 1998/99 (círculo preenchido).

verificados por COSTA et al. (1999), enquanto as plantas do tratamento ISFV apresentaram uma redução menor na percentagem de radiação interceptada do que o observado por COSTA (1994), em *Vicia faba*, que foi de 35%.

### 6.1.3 Percentagem de radiação interceptada *versus* índice de área foliar

Aos dados de percentagem de radiação interceptada *versus* índice de área foliar foi ajustado o modelo de Weibull (Equação 6.1), por este representar melhor o fenômeno ocorrido. Os parâmetros do modelo para cada tratamento, em cada experimento, estão no Quadro 6.2. O r encontrado mostra que, em 1997/98, houve um ajuste melhor, embora em 1998/99, o ajuste possa ser considerado bom. Isto se deve ao fato de que, em 1998/99, houve um maior número de amostragens, conferindo maior variabilidade à análise. O erro-padrão também foi maior em 1998/99.

Quadro 6.2 – Parâmetros do modelo de Weibull ajustado aos dados de índice de área foliar *versus* radiação interceptada nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) ao longo do ciclo da cultura, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros				r
		a	b	c	d	
1997/98	IPTP	98,4342	95,6759	0,5088	1,1763	0,998
	ISFV	98,0049	92,5643	0,9128	1,5242	0,991
	NIFV	97,6856	95,7663	0,5339	1,1558	0,999
	NIFF	98,4558	101,5968	0,8700	0,8731	0,996
1998/99	IPTP	104,0905	99,7606	0,4788	0,7812	0,968
	ISFV	107,5527	109,6788	0,7336	0,8155	0,962
	NIFV	104,7523	96,6993	0,4583	0,9742	0,981
	NIFF	101,7097	80,6174	0,4277	1,1276	0,957

A relação entre IAF e percentagem de radiação interceptada para todos os tratamentos, nos ensaios de 1997/98 e 1998/99, é apresentada nas Figuras 6.4 (a) e (b), e Figura 6.5. (a), (b), (c) e (d).

$$R_{\text{int}} = a - b \cdot e^{-c \cdot x^d} \quad (6.4)$$

em que

$R_{\text{int}}$  = radiação interceptada (%);

x = índice de área foliar; e

a, b, c, d = parâmetros da equação (Quadro 6.2)

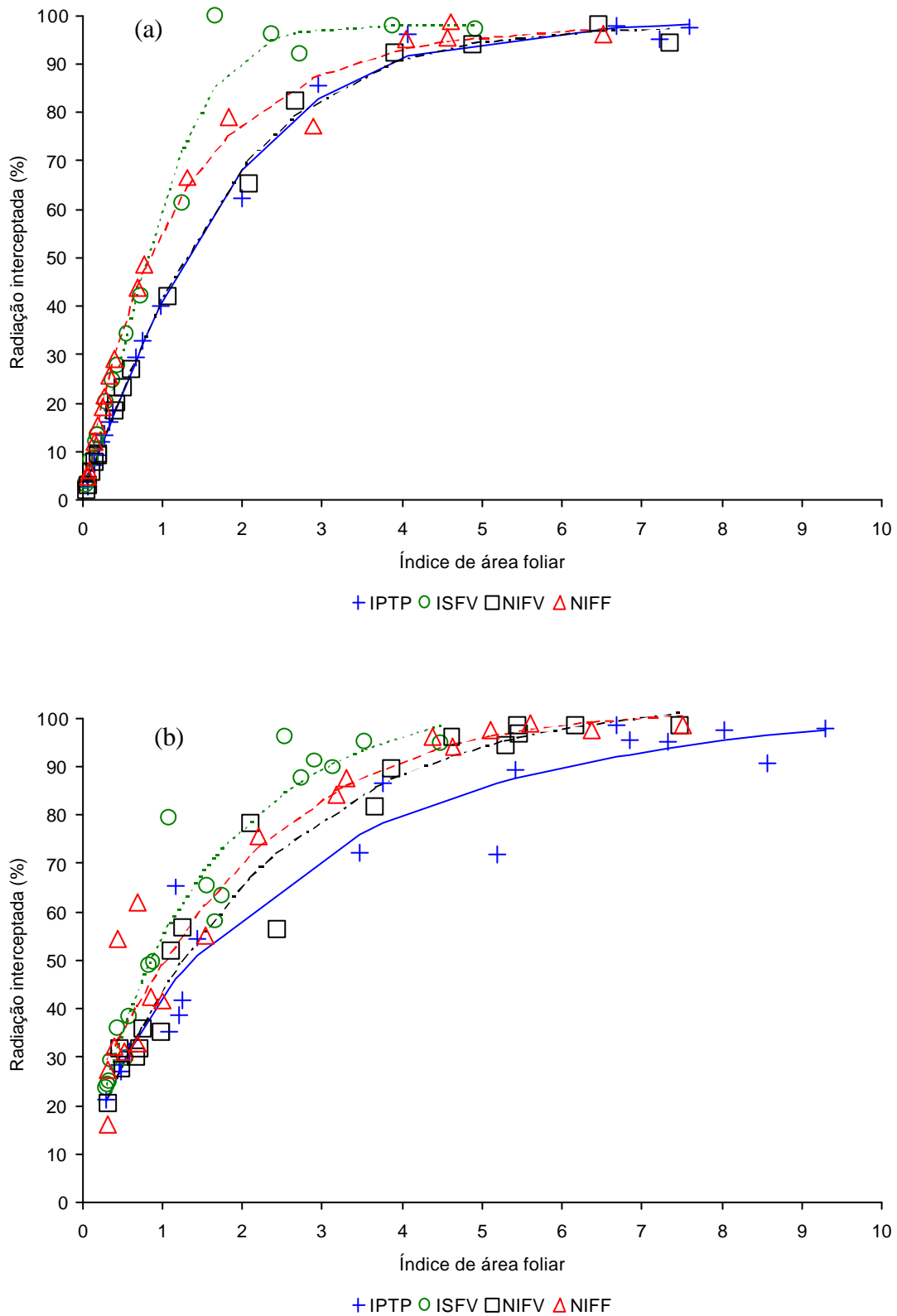


Figura 6.4 – Relação entre índice de área foliar e radiação interceptada em todos os tratamentos, no ensaio de 1997/98 (a) e no ensaio de 1998/99 (b), com o ajuste do modelo de Weibull.

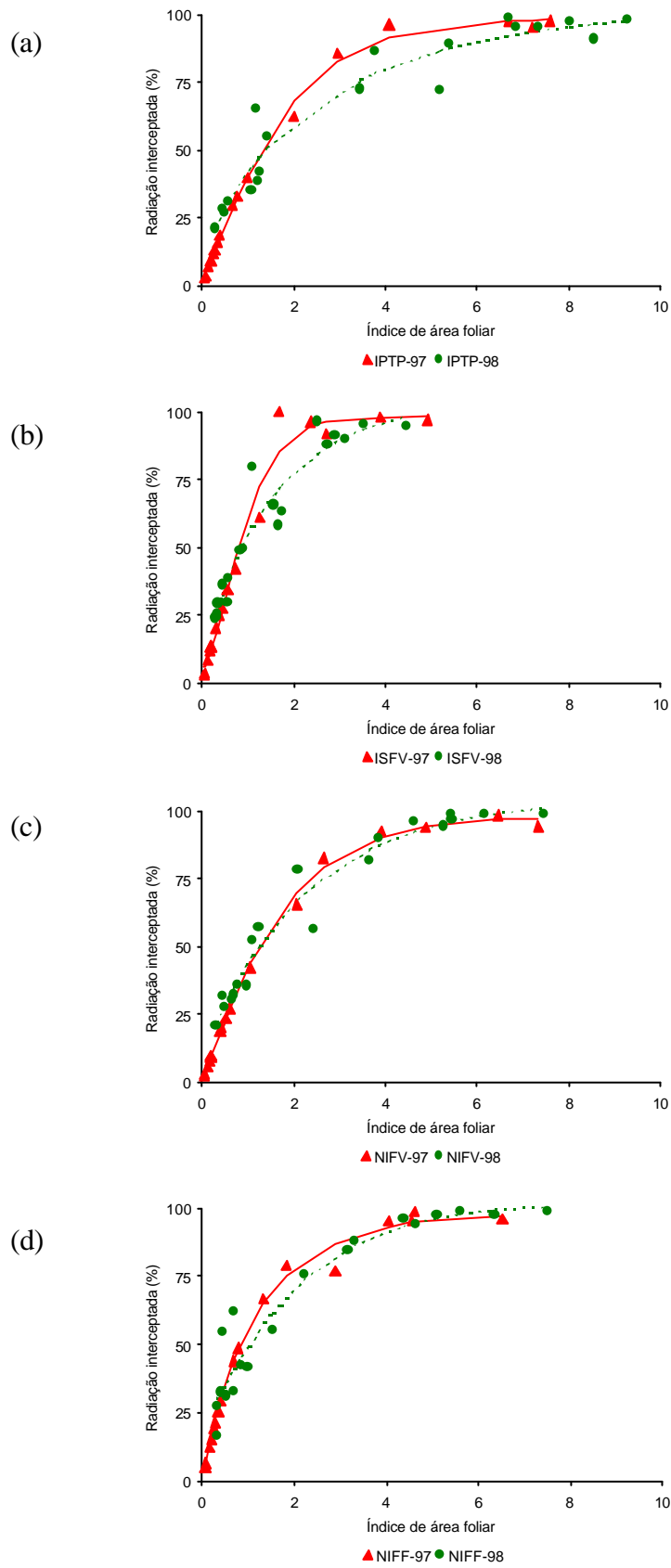


Figura 6.5 – Relação entre índice de área foliar e radiação interceptada em todos os tratamentos, com o ajuste do modelo de Weibull, nos ensaios de 1997/98 (triângulo preenchido) e 1998/99 (círculo preenchido).

Os resultados mostraram, conforme esperado, um aumento na porcentagem de radiação interceptada com o aumento da área foliar. É importante observar que, em 1997/98, com um IAF de 3 m<sup>2</sup> (folha) m<sup>-2</sup> (solo), todos os tratamentos já interceptavam mais de 80% de PAR (Figura 6.4 (a)). Em 1998/99, ocorreu um aumento menos acelerado da interceptação com o aumento de IAF. Com IAF de 3 m<sup>2</sup> (folha) m<sup>-2</sup> (solo), IPTP ainda não havia atingido 80% de interceptação, isto só vindo a ocorrer quando IAF atingiu um valor em torno de 4,3 m<sup>2</sup> (folha) m<sup>-2</sup> (solo), embora, com IAF de 3 m<sup>2</sup> (folha) m<sup>-2</sup> (solo), neste ensaio, os demais tratamentos já tenham atingido os 80% de interceptação (Figura 6.4 (b)). Estes resultados concordam com COSTA et al. (1999), segundo os quais, a cultura de soja, com IAF de 3 m<sup>2</sup> (folha) m<sup>-2</sup> (solo), em todos os tratamentos (estresse hídrico em fases distintas) já interceptavam mais de 80% da radiação incidente.

A maior interceptação apresentada por ISFV, em relação aos outros tratamentos do presente estudo, não foi verificada por COSTA (1994), para *Vicia faba*.

Em geral, o comportamento entre os tratamentos ocorreu como se esperava, ou seja, para um dado IAF, o tratamento ISFV interceptou mais radiação do que NIFF que interceptou mais que NIFV, que interceptou mais que IPTP. No ensaio de 1997/98, para um mesmo valor de IAF, os tratamentos IPTP e NIFV interceptaram praticamente a mesma quantidade de radiação, NIFF interceptou mais do que NIFV e IPTP, enquanto ISFV interceptou mais que os demais (Figura 6.4 (a)). No ano de 1998/99, a seqüência repetiu-se, mas NIFV interceptou menos que IPTP (Figura 6.4 (b)).

A explicação para que, em 1997/98, ocorresse um aumento mais acelerado na interceptação, em todos os tratamentos (Figura 6.5 (a), (b), (c) e (d)), provavelmente seja uma menor transpiração, uma vez que o déficit de pressão de vapor naquele ano foi menor, embora tenha havido uma temperatura média maior, em relação a 1998/99 (Capítulo 3) e, assim, a cultura não teve que se precaver contra a perda de água.

A seqüência na porcentagem de interceptação, entre os tratamentos pode ter sido devida à seguinte explicação, ou seja, ISFV com uma incidência de radiação sobre seu dossel diminuída em 60% (Capítulo 3), dispôs suas folhas na horizontal, aumentando ao máximo possível sua capacidade de interceptação. NIFF também sofreu uma diminuição na radiação incidente, em torno de 24%, sendo que, como estava sendo irrigado na fase vegetativa, também otimizou sua interceptação. O tratamento NIFV interceptou menos que NIFF, em virtude de estar sob estresse hídrico na fase vegetativa e, assim, diminuiu a porcentagem de radiação interceptada para também minimizar a

perda de água. O tratamento IPTP, sob o sol, sem nenhuma atenuação da radiação incidente sobre seu dossel, diminuiu a interceptação para evitar a perda de água, orientando as folhas para uma posição mais paralela aos raios solares.

## 6.2 Coeficiente de extinção da radiação

Em termos matemáticos, a aproximação da penetração da luz no dossel foi feita por MONSI & SAEKI (1953), que adaptaram a lei de Lambert-Beer-Bougher para extinção da radiação na atmosfera. Assim, o modelo adaptado é

$$\frac{I}{I_0} = \exp(-k \cdot L) \quad (6.5)$$

em que  $\frac{I}{I_0}$  é a parcela de radiação transmitida, medida em qualquer altura no dossel, geralmente medida na superfície do solo, sendo  $I_0$  a radiação incidente sobre o dossel e  $I$  a radiação incidente em qualquer ponto dentro do dossel (qualquer altura no dossel);  $k$  é um coeficiente de extinção para folhas de plantas e  $L$  é o índice de área foliar cumulativo da copa do dossel para a base deste (solo).

O modelo de Monsi-Saeki assume que o dossel é um meio homogêneo e que toda luz incidente é absorvida pelas folhas e, assume ainda, que o céu é isotrópico, isto é, que toda a radiação é difusa e  $k$  é constante. Erros inerentes neste modelo são causados pela heterogeneidade natural da comunidade de plantas com diversas inclinações das folhas e, ainda, pelos seguintes fatores: a luz é refletida, espalhada e absorvida; o céu não é isotrópico, pois isto não ocorre, nem mesmo quando está totalmente nublado; a qualidade da luz varia; ocorrem espaços vazios, por onde a luz atravessa e atinge o solo sem nenhuma barreira; e  $k$  varia de acordo com a geometria e condição das folhas (idade e turgidez). Portanto, este modelo pode ser utilizado, conhecendo-se a distribuição de IAF como uma função da altura do dossel (este de fácil obtenção) e os valores de  $k$  (de determinação mais complexa). Os valores de  $k$  podem variar de 0,3 a 0,5, em comunidades de folhas eretas, e de 0,7 a 1,0 em comunidades de folhas planas (ROSENBERG et al., 1983), embora medidas de  $k$  no campo indiquem valores atingindo até 1,5 (JONES, 1994).

A determinação do coeficiente de extinção da radiação no dossel deve ser feita de forma a atender o máximo possível às pressuposições feitas por MONSI e SAEKI

(1953), embora muitos utilizem valores preestabelecidos (SCHÖFFEL e VOLPE, 2001).

A determinação de  $k$  pode ser feita de duas maneiras, ou seja, uma em que se instalam solarímetros a diversas profundidades, no dossel, coletam-se valores de radiação para todo o dia e determina-se o valor de IAF por amostras destrutivas, ou por medidas diretas através de aparelhos como o “olho-de-peixe”. Feito isso, ajusta-se o modelo de MONSI e SAEKI (1953) e obtém-se o valor do parâmetro  $k$ . A outra forma, consiste em obter medidas pontuais da radiação ao meio-dia solar, acima e abaixo do dossel, utilizando aparelhos como o ceptômetro. Essas medições podem ser feitas a diversas alturas também. O IAF pode ser obtido, conforme explicado acima. Após a obtenção desses valores, deve-se ajustar uma curva aos dados de IAF (modelo de Gauss, por exemplo) e uma curva aos dados de percentagem de radiação interceptada ( $\frac{I}{I_0}$ ) (logístico, Gauss ou outro que se ajuste bem aos dados e ao interesse do pesquisador). Obtidas as curvas, seus valores podem ser aplicados ao modelo de MONSI e SAEKI (1953) logaritimizado (Equação 6.6), obtendo-se um valor de  $k$  médio.

$$k = \frac{-\ln(I/I_0)}{L} \quad (6.6)$$

Usando dados obtidos por meio do ceptômetro, a diversas alturas no dossel, ou seja, acima do dossel, dentro e abaixo do dossel, ajustou-se o modelo  $I = I_0 \exp(-k L)$  (6.6), utilizando o programa STATISTICA, obtendo os valores de  $k$  para todo o período, para todos os tratamentos, nos dois ensaios (Figuras 6.6 a 6.9).

Verifica-se que, no tratamento IPTP de 1997/98 e 1998/99, os valores de  $k$  foram 0,776 e 0,576, respectivamente, com  $r^2$  de 0,919 e 0,979, respectivamente. No tratamento ISFV de 1997/98 e 1998/99, os valores de  $k$  foram 1,326 e 0,769, respectivamente, com  $r^2$  de 0,881 e 0,969, respectivamente. No tratamento NIFV de 1997/98 e 1998/99, os valores de  $k$  foram 0,796 e 0,577, respectivamente, com  $r^2$  de 0,940 e 0,979, respectivamente. No tratamento NIFF de 1997/98 e 1998/99, os valores de  $k$  foram 0,862 e 0,731, respectivamente, com  $r^2$  de 0,938 e 0,974, respectivamente (Figuras 6.6 a 6.9).

Também foram encontrados valores de  $k$ , adotando-se o segundo procedimento, para as diversas fases fenológicas da cultura de soja (Quadro 6.3). Este procedimento foi usado em análises mais detalhadas sobre a extinção da radiação no dossel.

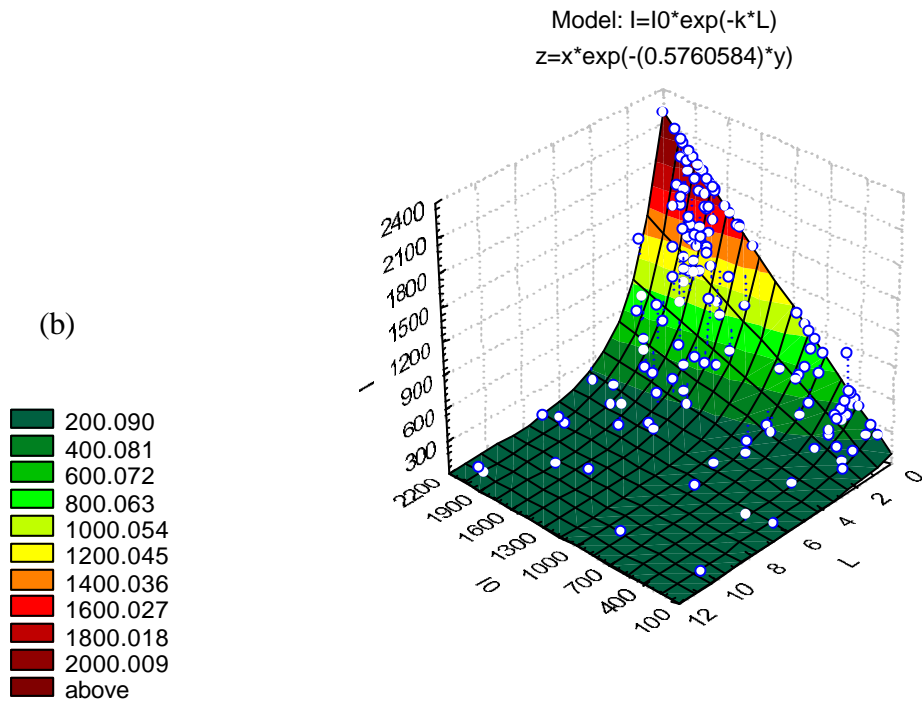
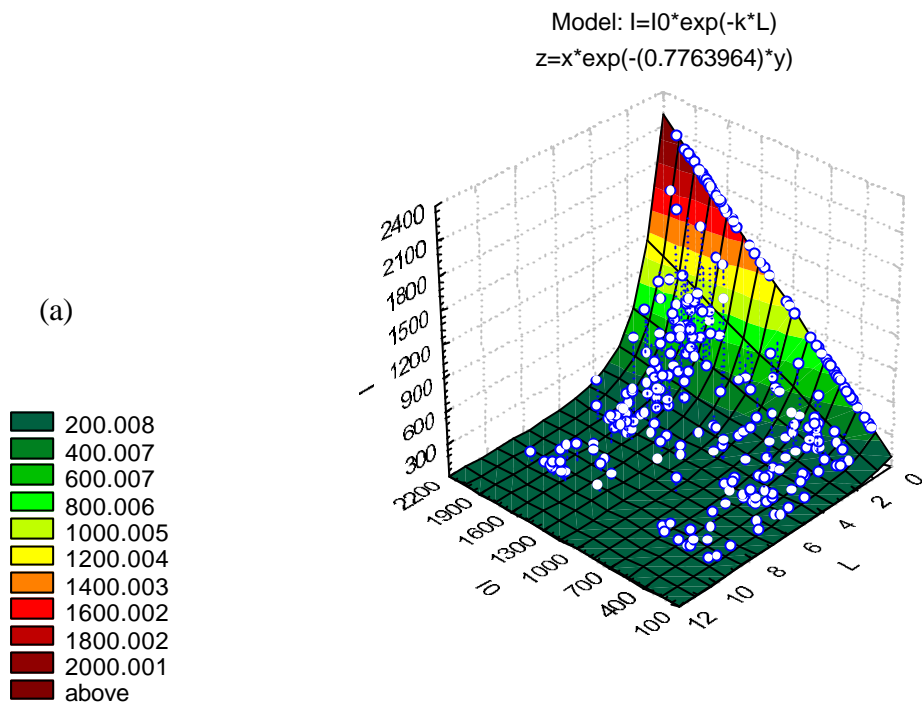


Figura 6.6 – PAR transmitida (I) *versus* índice de área foliar cumulativo (L) mediante diversas densidades de fluxo de fótons incidentes sobre o dossel ( $I_0$ ) nos tratamentos IPTP-1997/98 (a) e IPTP-1998/99 (b).

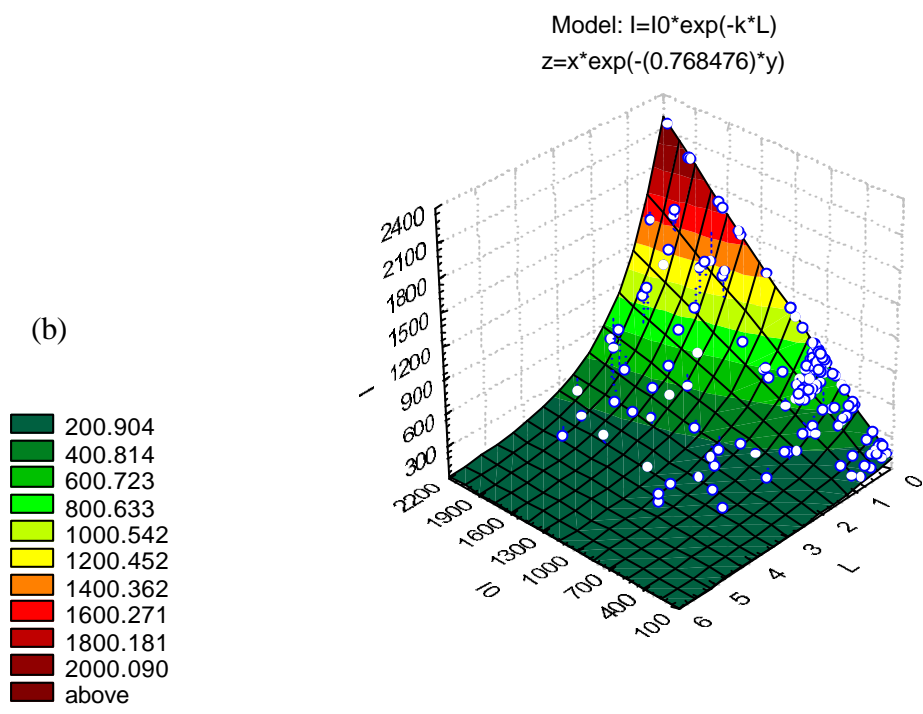
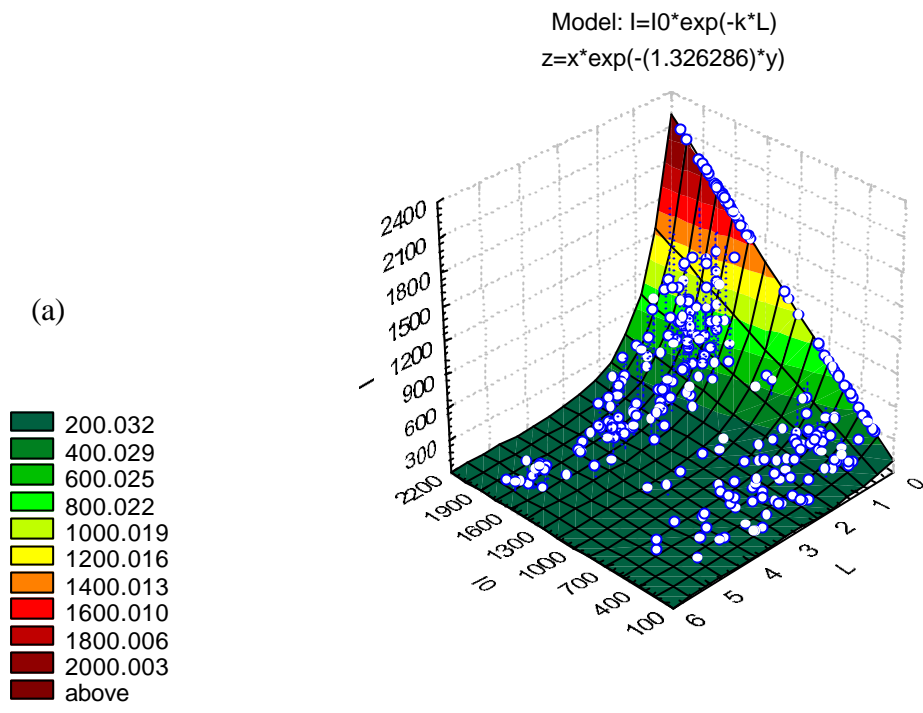


Figura 6.7 – PAR transmitida (I) *versus* índice de área foliar cumulativo (L) mediante diversas densidades de fluxo de fótons incidentes sobre o dossel ( $I_0$ ) nos tratamentos ISFV-1997/98 (a) e ISFV-1998/99 (b).

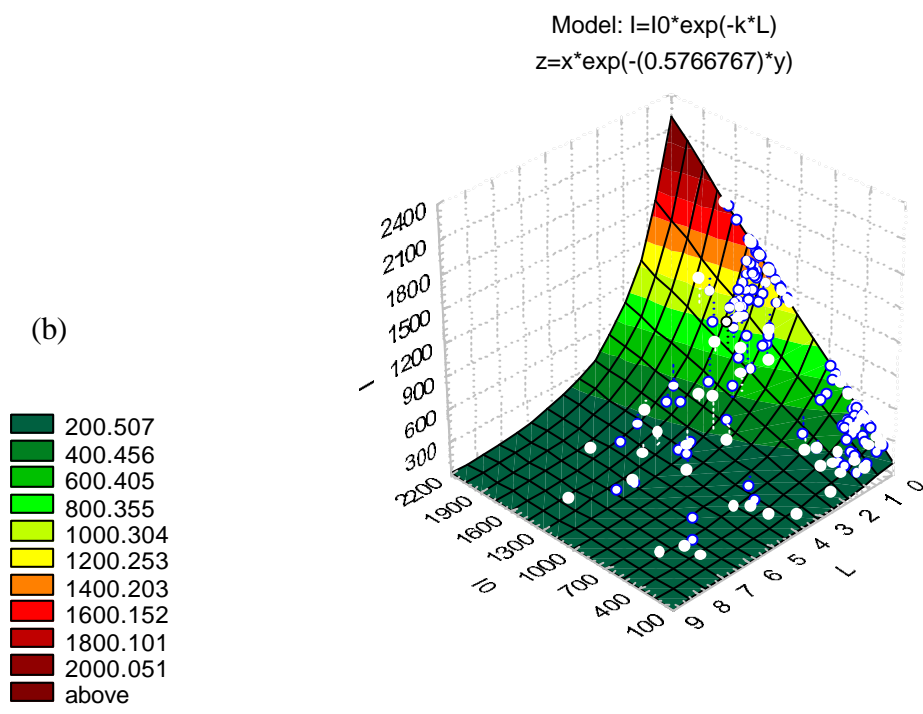
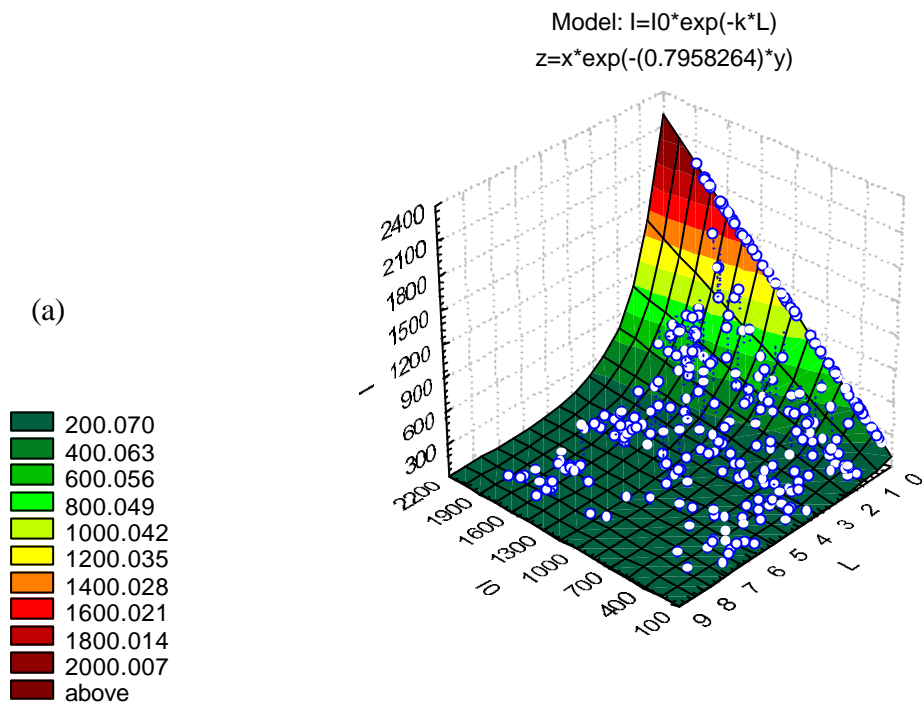


Figura 6.8 – PAR transmitida (I) *versus* índice de área foliar cumulativo (L) mediante diversas densidades de fluxo de fótons incidentes sobre o dossel ( $I_0$ ) nos tratamentos NIFV-1997/98 (a) e NIFV-1998/99 (b).

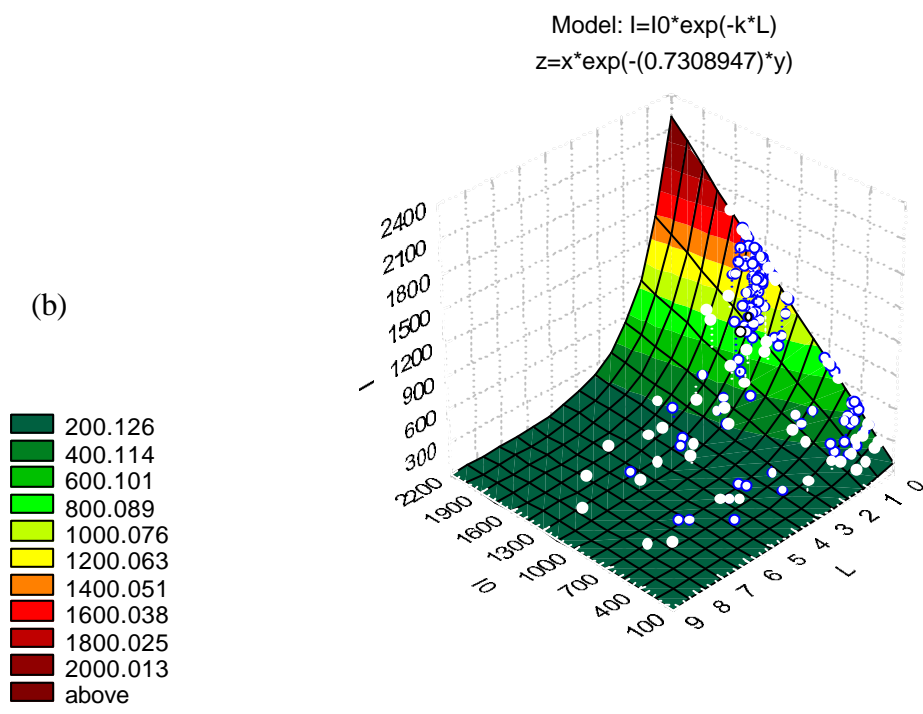
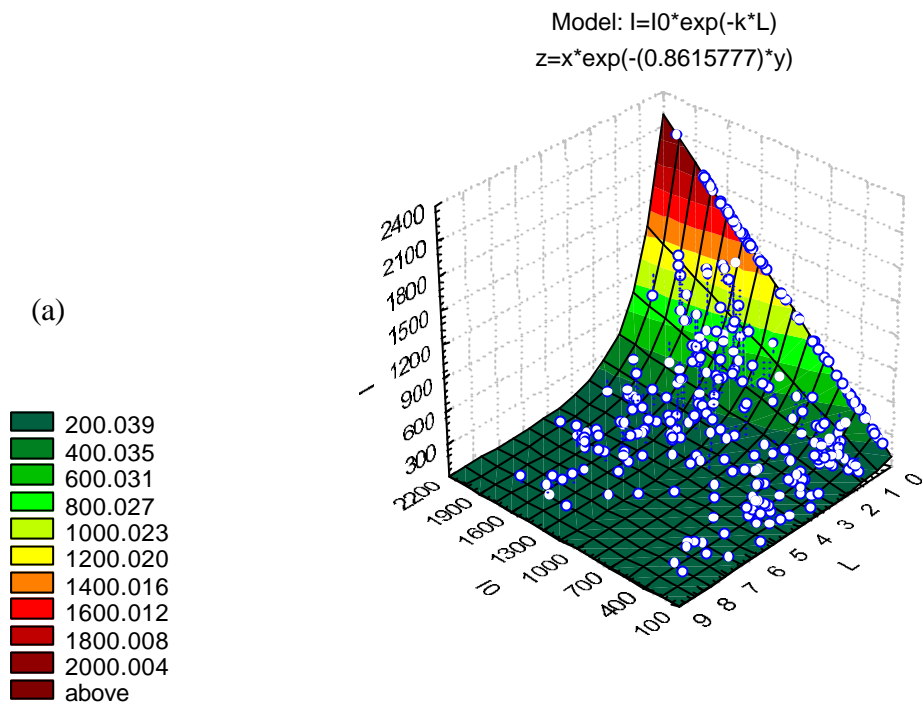


Figura 6.9 – PAR transmitida (I) *versus* índice de área foliar cumulativo (L) mediante diversas densidades de fluxo de fótons incidentes sobre o dossel ( $I_0$ ) nos tratamentos NIFF-1997/98 (a) e NIFF-1998/99 (b).

Quadro 6.3 – Valor médio do coeficiente de extinção da radiação fotossinteticamente ativa (k) nas fases fenológicas vegetativa (VEG), florescimento (FLOR), enchimento de grãos (GRÃOS), ciclo total considerando somente a fase de aumento de IAF (CTOT\*), ciclo total considerando o período entre 20 DAE e 86 DAE em que as curvas ajustaram-se bem aos dados (CTOT) nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Fase	DAE	1997/98				1998/99			
		IPTP	ISFV	NIFV	NIFF	IPTP	ISFV	NIFV	NIFF
VEG	20-50	0,53	0,97	0,57	0,75	0,48	0,78	0,56	0,90
FLOR	51-70	0,54	0,80	0,50	0,59	0,43	0,66	0,48	0,59
GRÃOS	71-86	0,48	0,79	0,48	0,52	0,41	0,79	0,72	0,62
CTOT*	20-70	0,54	0,91	0,54	0,69	0,47	0,73	0,53	0,78
CTOT	20-86	0,52	0,88	0,53	0,65	0,45	0,75	0,58	0,74

Neste estudo, verificou-se que, em geral, o valor de k diminuiu à medida que o tamanho do dossel aumentou. No ensaio de 1997/98, o tratamento que apresentou o valor mais elevado de k foi ISFV, seguido por NIFF, NIFV e IPTP. No ensaio de 1998/99, na fase vegetativa, NIFF apresentou o maior valor de k. Este influenciou o valor de k também para CTOT\*, onde NIFF também apresentou maior k. Nas outras fases, ISFV apresentou o maior valor de k. Em geral, o valor de k seguiu o grau de sombreamento, ou seja, quanto maior o grau de sombreamento maior o valor de k e, portanto, a ordem decrescente é ISFV, NIFF, NIFV e IPTP (Quadro 6.3). Isto indica que o valor de k está mais relacionado ao ângulo de inclinação foliar do que ao IAF. As plantas sob estresse por sombreamento colocaram-se em posição mais planiforme (horizontal) para interceptar mais radiação. COSTA (1994), trabalhando com *Vicia faba* sombreada, encontrou resultado oposto ao encontrado no presente estudo. Na seqüência, o tratamento NIFF, com irrigação na fase vegetativa e com a radiação incidente sobre seu dossel diminuída em 24%, dispôs suas folhas em posição mais horizontal para interceptar maior quantidade de luz. NIFV comportou-se do mesmo modo, pois estava sombreado em 23%, embora em menor grau, em vista do estresse hídrico, enquanto IPTP sob “céu limpo” apresentou um dossel mais verticalizado, o que implicou em menores valores de k. Este tratamento apresentou também a menor variação em k, ao longo do ciclo, enquanto NIFF apresentou a maior.

Os valores de k verificados concordam com aqueles verificados por SINGH et al. (1996) para *Brassica rapa*, que apresentaram a mesma tendência e variaram entre 0,25 a 0,71.

### 6.3 Eficiência de uso da radiação

MONTEITH (1977) apresentou uma relação entre matéria seca acumulada por PAR absorvida acumulada, ou seja,

$$MS = \epsilon \cdot PAR_{Acum} \quad (6.7)$$

em que MS = matéria seca acumulada ( $g\ m^{-2}$ );  $PAR_{Acum}$  = PAR absorvida acumulada ( $MJ\ m^{-2}$ ); e  $\epsilon$  = quociente matéria seca:radiação solar ( $g\ MJ^{-1}$ ). Esta relação foi usada para estimar um único valor de  $\epsilon$  para cada fase fenológica e para o ciclo total, em cada tratamento. Os valores de  $\epsilon$  foram estimados, ajustando-se uma regressão linear entre a massa seca acumulada e a PAR acumulada. O resultado de eficiência de uso da radiação (EUR), nos diversos períodos, é apresentado a seguir.

#### 6.3.1 Eficiência de uso da radiação para o ciclo total

Os valores da EUR verificados para todo o ciclo da cultura (aqui considerado como o período entre 20 DAE e o ponto de máximo acúmulo de matéria seca) são apresentados no Quadro 6.4 e Figura 6.10. Todas as comparações de EUR, entre tratamentos, são feitas em relação ao tratamento irrigado por todo o período (IPTP).

Para o ciclo total, a EUR foi sempre menor em ISFV. No ano de 1997/98, os demais tratamentos praticamente apresentaram o mesmo valor para EUR. Os ajustes também foram muito bons (Quadro 6.4). No ensaio de 1998/99, todos os tratamentos apresentaram maior valor para EUR, possivelmente, devido ao clima que, nesse ano foi mais favorável, permitindo à cultura obter maior produção de matéria seca. ISFV, nesse ano, novamente apresentou o menor valor de EUR. IPTP apresentou o maior valor seguido de perto por NIFF. Estes valores estão dentro da faixa de EUR esperada para plantas  $C_3$ , crescendo sob condições ótimas, ou seja, entre 2,0 e 4,5  $g\ MJ^{-1}$  (COSTA, 1994; ROSENTHAL & GERIK, 1991; KINIRY et al., 1989).

Quadro 6.4 – Parâmetros do modelo linear ajustado aos dados de radiação solar interceptada acumulada *versus* matéria seca acumulada no intervalo compreendido entre 20 DAE ao ponto de máxima produção de matéria seca nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros		r <sup>2</sup>
		a	b (RUE)	
1997/98	IPTP	-27,1940	2,6194	0,992
	ISFV	8,0391	1,8061	0,997
	NIFV	-13,7170	2,5454	0,987
	NIFF	-29,7360	2,5640	0,991
1998/99	IPTP	-98,6050	3,3933	0,957
	ISFV	-7,0946	2,0295	0,920
	NIFV	-51,7480	2,9853	0,936
	NIFF	-68,6970	3,2524	0,890

Todos os tratamentos reduziram a EUR, embora pouco, em alguns casos, em relação ao tratamento IPTP. CONFALONE (1998) verificou um aumento de 65% na EUR em NIFV em relação a IPTP, resultado esse oposto ao apresentado por NIFV neste estudo. O sombreamento teve forte efeito, negativo, sobre a EUR.

### 6.3.2 Eficiência de uso da radiação na fase vegetativa

Os valores da EUR na fase vegetativa, aqui considerada como o período entre 20 e 50 DAE, são apresentados no Quadro 6.5 e na Figura 6.11.

No ensaio de 1997/98, na fase vegetativa, a EUR aumentou 20% no tratamento ISFV e 17% em NIFF. No tratamento NIFV, na fase vegetativa, não houve alterações nos valores da EUR.

No ano de 1998/99, a EUR não foi alterada em ISFV, ao passo que em NIFV e NIFF a EUR aumentou em 45 e 6%, respectivamente.

Em seu trabalho, CONFALONE (1998) encontrou resultados em NIFV, que concordam com os resultados para NIFV, obtidos em 1998/99. Entretanto, os resultados de NIFF, tanto em 1997/98 quanto em 1998/99, são contrários aos encontrados por essa autora.

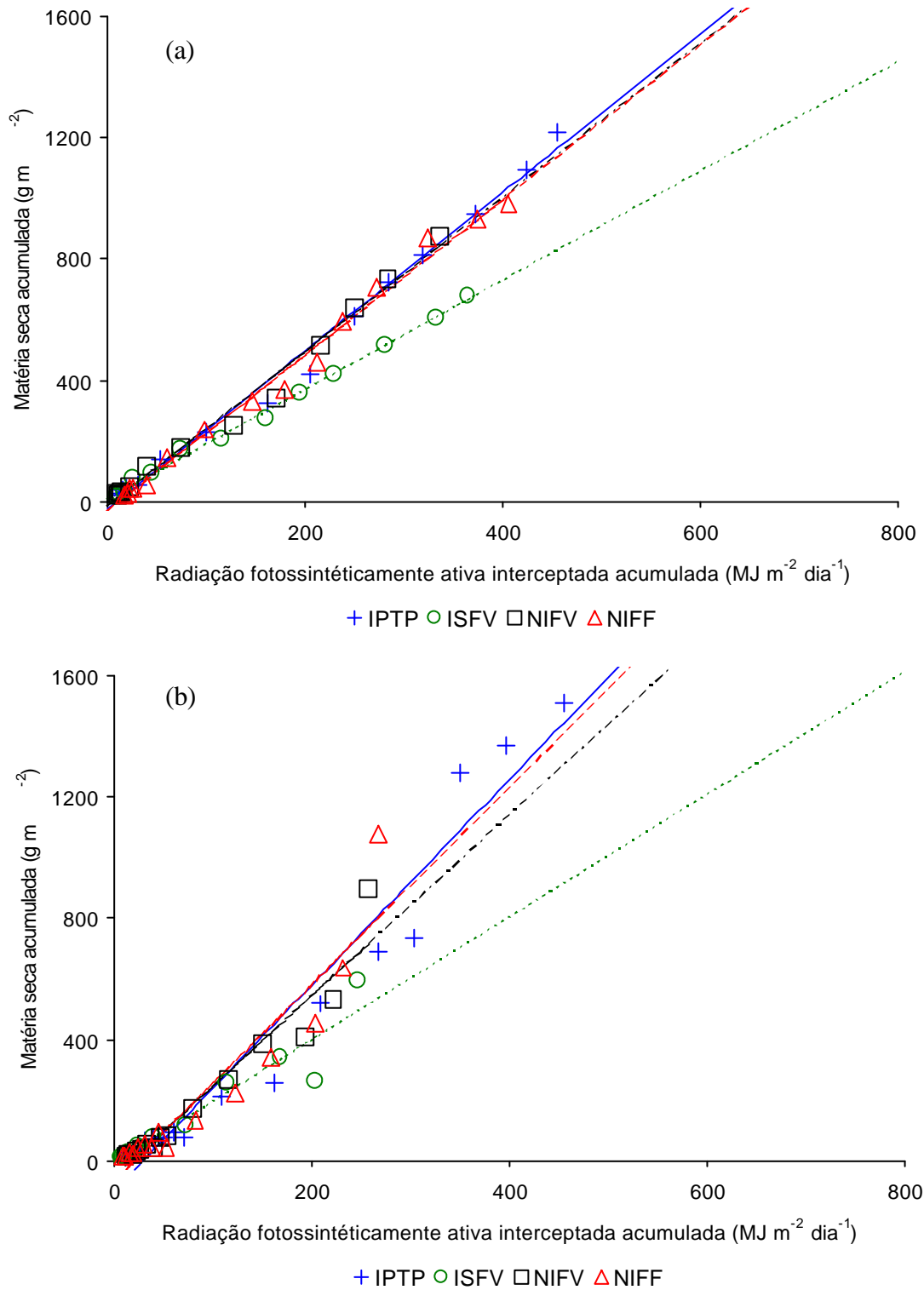


Figura 6.10 – Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e matéria seca acumulada no período compreendido entre 20 DAE até o ponto máximo de acúmulo de MS em todos os tratamentos, no ensaio de 1997/98 (a) e no ensaio de 1998/99 (b).

Quadro 6.5 – Parâmetros do modelo linear ajustado aos dados de radiação solar interceptada acumulada *versus* matéria seca acumulada no intervalo compreendido entre 20 e 50 DAE nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros		r <sup>2</sup>
		a	b (RUE)	
1997/98	IPTP	1,5929	2,1776	0,989
	ISFV	-5,7586	2,6207	0,980
	NIFV	7,0824	2,1252	0,981
	NIFF	-23,6210	2,5536	0,991
1998/99	IPTP	-2,7858	1,6687	0,948
	ISFV	1,5601	1,6494	0,966
	NIFV	-25,6150	2,4180	0,969
	NIFF	-6,6484	1,7688	0,928

Em geral, na fase vegetativa, os tratamentos que estiveram sob algum sombreamento, apresentaram aumento na EUR. Isto confirma nossa hipótese de que a diminuição na quantidade de radiação interceptada seja por estresse hídrico (CONFALONE, 1998), seja por sombreamento (COSTA, 1994), leva a cultura a aumentar sua EUR, embora não sendo na mesma proporção.

### 6.3.3 Eficiência de uso da radiação na fase de florescimento

Os valores da EUR na fase de florescimento, aqui considerada como o período entre 50 e 70 DAE, são apresentados no Quadro 6.6 e Figura 6.12.

No ensaio de 1997/98, a EUR diminuiu, em relação a IPTP, em todos os tratamentos. ISFV apresentou queda de 55%, NIFV de 2% e NIFF de 15%.

No ensaio de 1998/99, ISFV apresentou queda de 62% e NIFV de 34%. O tratamento NIFF apresentou um aumento de 7% na EUR, todos em relação a IPTP.

O valor de aumento na EUR em NIFF, em 1998/99, está de acordo com aquele encontrado por CONFALONE (1998), que usou o mesmo tratamento em 1995/96.

Em 1997/98, as quedas na EUR, em ISFV e NIFV, foram menores do que aquelas ocorridas nesses mesmos tratamentos em 1998/99. Isto pode ter sido devido à diferença climática entre os dois anos de experimento, propiciando um aumento maior na produção de matéria seca de IPTP, durante o mesmo período, em 1998/99.

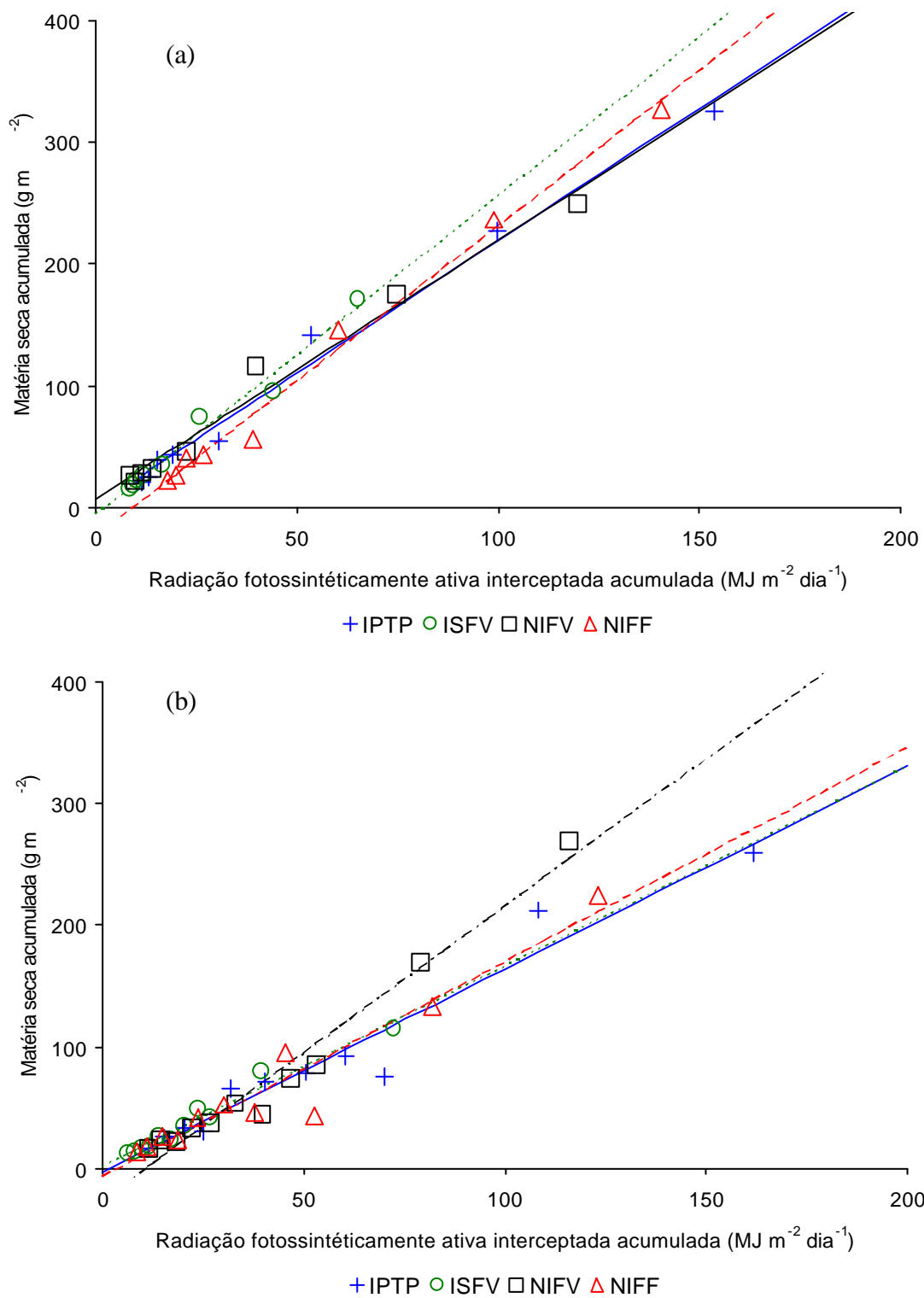


Figura 6.11 – Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e matéria seca acumulada no período compreendido entre 20 e 50 DAE, em todos os tratamentos, no ensaio de 1997/98 (a) e no ensaio de 1998/99 (b).

Quadro 6.6 – Parâmetros do modelo linear ajustado aos dados de radiação solar interceptada acumulada *versus* matéria seca acumulada no intervalo compreendido entre 50 e 70 DAE nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros		$r^2$
		a	b (RUE)	
1997/98	IPTP	-233,7600	3,3438	0,987
	ISFV	45,4260	1,5188	0,957
	NIFV	-189,7100	3,2825	0,985
	NIFF	-116,7500	2,8557	0,923
1998/99	IPTP	-249,9300	3,4175	0,945
	ISFV	63,1480	1,3064	0,610
	NIFV	19,0460	2,2396	0,904
	NIFF	-236,3700	3,6401	0,952

#### 6.3.4 Eficiência de uso da radiação na fase reprodutiva

Os valores da EUR na fase reprodutiva, aqui considerada como o período entre 50 DAE e o ponto de máximo acúmulo de matéria seca, estão apresentados no Quadro 6.7 e Figura 6.13.

Nesse período, a cultura apresentou uma tendência semelhante à fase de florescimento. Em 1997/98, ISFV apresentou uma queda de 40% na EUR e NIFF uma queda de 9%, ao passo que NIFV apresentou um aumento de 4%, em relação a IPTP.

No ensaio de 1998/99, ISFV e NIFV apresentaram queda de 51 e 13%, respectivamente, e NIFF um aumento de 21% em relação a IPTP.

Os valores de RUE, na fase reprodutiva foram, em geral, maiores que os apresentados nas demais fases. Isto se deve ao fato de que, na fase reprodutiva, há diminuição na interceptação de radiação devido à queda de folhas (CONFALONE et al., 1997), embora a matéria seca permaneça mais elevada devido à translocação de fotoassimilados para os grãos (BROWN, 1994).

Devido ao fato de o modelo de Angstron subestimar a radiação global, em mais ou menos 20%, em relação à medida por um piranômetro Eppley, conforme constatado em medidas feitas por PEREIRA e ZOLNIER (2000) (dados ainda não publicados) (Figura 11A), os valores de RUE obtidos de valores de radiação estimados, quando

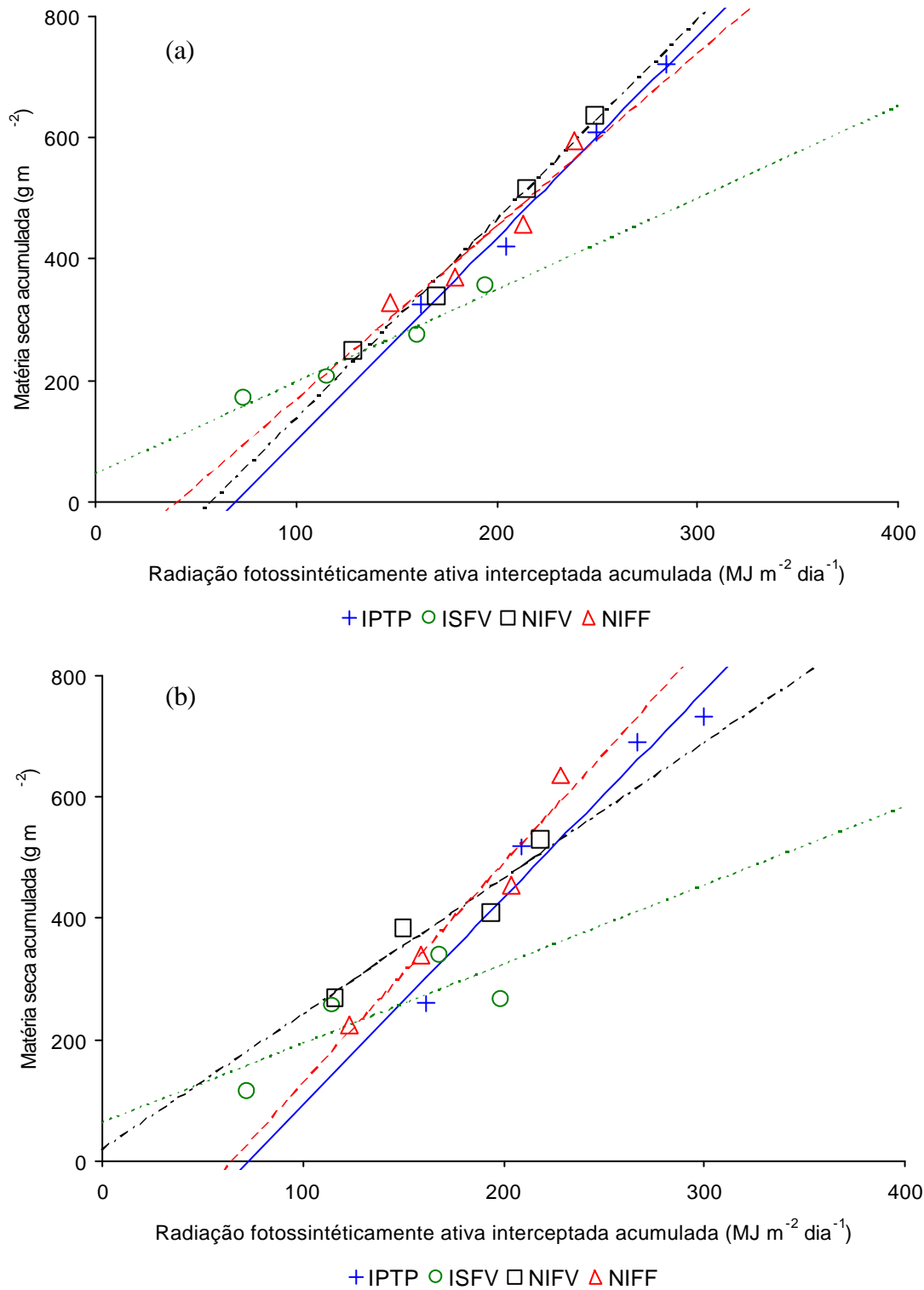


Figura 6.12 – Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e matéria seca acumulada no período compreendido entre 50 e 70 DAE, em todos os tratamentos, no ensaio de 1997/98 (a) e no ensaio de 1998/99 (b).

Quadro 6.7 – Parâmetros do modelo linear ajustado aos dados de radiação solar interceptada acumulada *versus* matéria seca acumulada no intervalo compreendido entre 50 DAE ao ponto de máxima produção de matéria seca nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Parâmetros		r <sup>2</sup>
		a	b (RUE)	
1997/98	IPTP	-163,5200	3,0180	0,996
	ISFV	8,8878	1,8017	0,993
	NIFV	-163,4900	3,1372	0,994
	NIFF	-81,0620	2,7325	0,973
1998/99	IPTP	-466,0600	4,4922	0,949
	ISFV	-43,1880	2,2218	0,755
	NIFV	-231,2900	3,8861	0,818
	NIFF	-527,8300	5,4566	0,873

comparados com valores de RUE obtidos de valores de radiação medida, apresentam uma subestimação de 12%, em média, ou seja, utilizando valores de radiação estimados pelo modelo de Ångstron, os valores de RUE ficam, em média, 12% menores em relação aos valores de RUE calculados com valores de radiação medidos. No presente estudo, não foram utilizados os valores medidos em virtude destes serem fornecidos por uma estação automática do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), que está localizada próximo ao campo experimental, a qual só dispunha de dados a partir de 1998/99, assim seu uso impediria a realização de análises comparativas, uma vez que os dados de 1997/98 foram estimados por meio do modelo de Angstron.

#### 6.4 Eficiência de conversão da energia solar

A Figura 6.14 apresenta a eficiência de conversão da energia solar. Os valores instantâneos foram determinados, a partir da equação  $\hat{i} (\%) = (100 \cdot C_t \cdot \wedge) / R_a$ , em que  $R_a$  é o valor médio diário da radiação solar total incidente, em  $\text{cal m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  ( $R_a = (R_g \cdot 1000000) / 4,1855$ );  $C_t$  é a taxa de crescimento da cultura, em  $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$  sendo utilizado o valor calorífico ( $\wedge$ ) determinado por MELGES (1983) para a cultura de soja, cujo valor médio foi  $4460 \pm 102 \text{ cal g}^{-1}$ ;  $R_g$  é a radiação global diária em  $\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ .

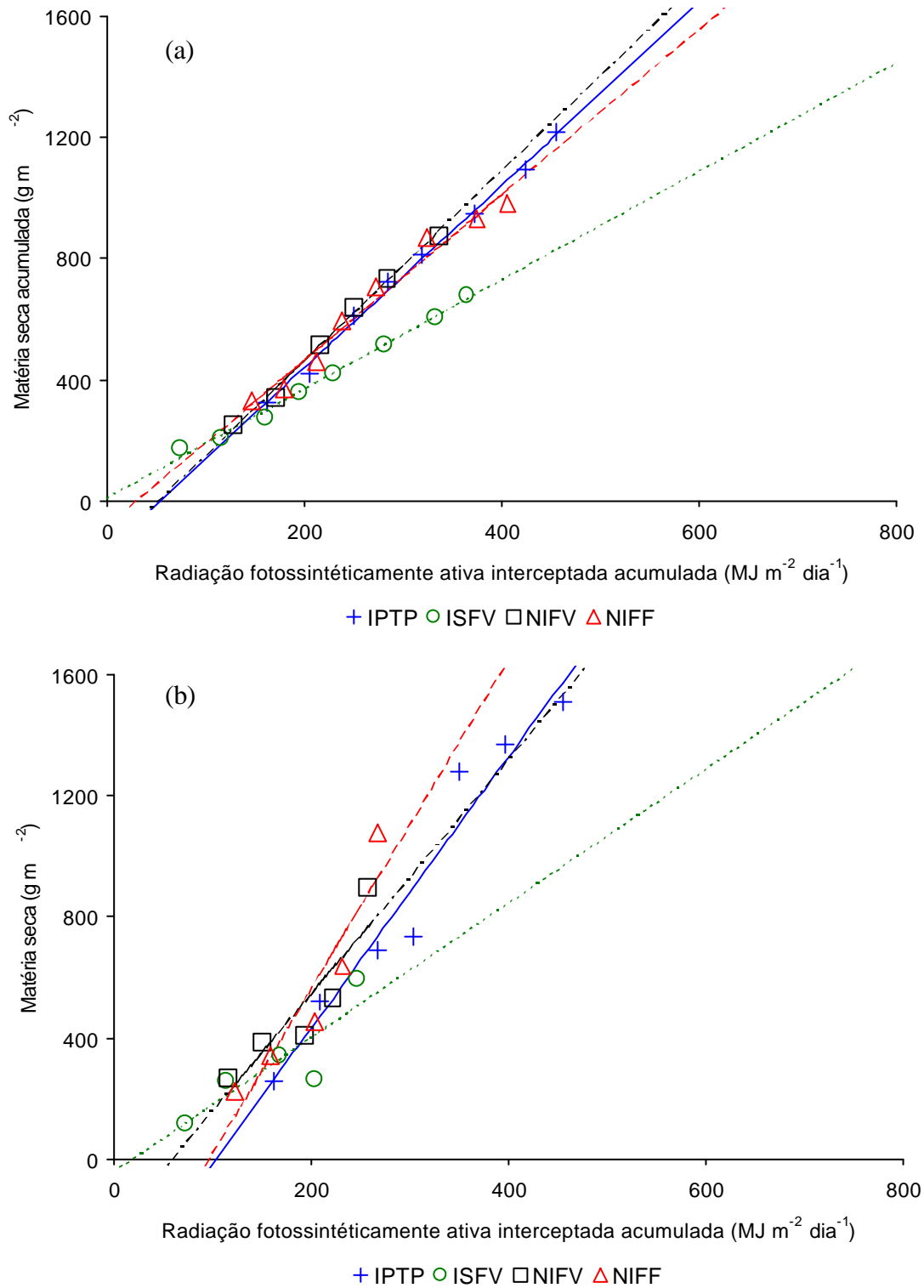


Figura 6.13 – Relação entre radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada e matéria seca acumulada no período compreendido entre 50 DAE e o ponto de máximo acúmulo de matéria seca, em todos os tratamentos, no ensaio de 1997/98 (a) e no ensaio de 1998/99 (b).

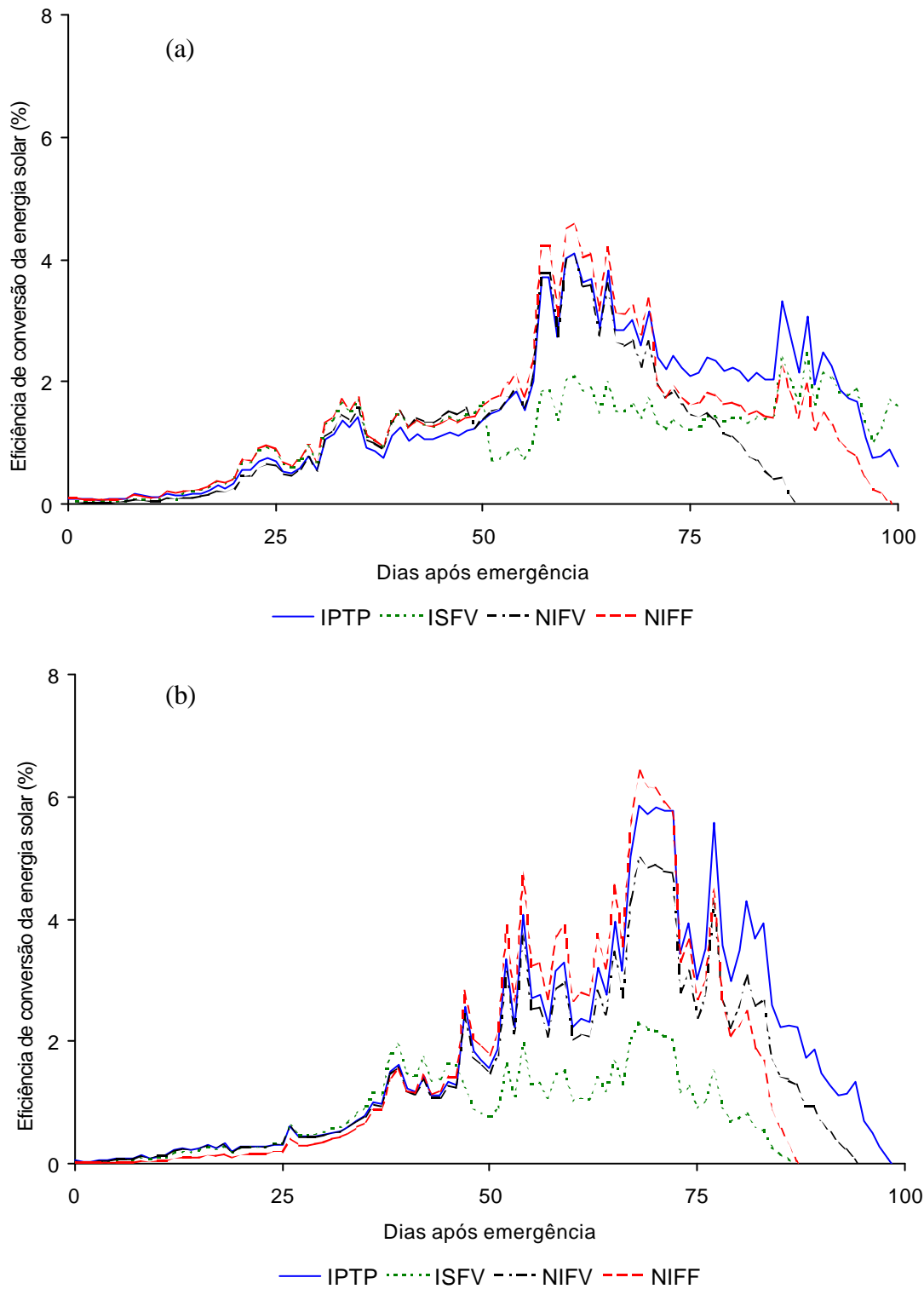


Figura 6.14 – Eficiência de conversão da energia solar na cultura de soja ao longo do ciclo da cultura, em todos os tratamentos, no ensaio de 1997/98 (a) e no ensaio de 1998/99 (b).

Como fase vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos consideraram-se os períodos de zero a 50 DAE; 50 a 70 DAE; e de 70 DAE até à data anterior àquela de ocorrência de valores negativos de  $\hat{i}$ .

Em 1997/98, a maior eficiência foi apresentada por NIFF, nas fases vegetativa e de florescimento (Figura 6.14 (a)). Os valores médios percentuais, na fase vegetativa, em ordem decrescente, foram 0,74 para NIFF; 0,71 para ISFV; 0,64 para NIFV e 0,61 para IPTP. Na fase de florescimento, os valores médios de  $\hat{i}$  foram 3,02 para NIFF; 2,75 para IPTP; 2,64 para NIFV e 1,46 para ISFV. Na fase de enchimento de grãos, os valores médios foram 1,93 para IPTP; 1,51 para ISFV; 1,49 para NIFF e 1,27 para NIFV.

No ensaio de 1998/99, na fase vegetativa, IPTP apresentou o maior valor, isto é, 0,60, sendo seguido por ISFV com 0,59, NIFV com 0,56 e NIFF com 0,51. Na fase de florescimento, NIFF apresentou o maior valor, isto é, 3,46, sendo seguido por IPTP com 3,20, NIFV com 2,69 e ISFV com 1,34. Na fase de enchimento de grãos, os valores médios foram 2,95 para NIFF; 2,75 para IPTP; 2,31 para NIFV e 1,00 para ISFV (figura 6.14 (b)).

Em geral, o estresse hídrico na fase vegetativa aumentou a eficiência de conversão da radiação, comparando NIFV com IPTP, em 1997/98, e com NIFF em 1998/99. O sombreamento levou a um aumento na eficiência de conversão da radiação. Estes resultados estão de acordo com aqueles encontrados por MELGES (1983), que observou um aumento na eficiência de conversão da radiação com o aumento no grau de sombreamento, embora, no presente estudo, isto não tenha ocorrido com relação à intensidade do sombreamento.

Os valores máximos encontrados são superiores aos de OJIMA e KAWASHIMA (1968), que encontraram valores de até 3,6%. Os picos máximos foram encontrados aos 60 DAE, em 1997/98, e aos 68 DAE em 1998/99. A partir desses pontos, houve declínio em todos os tratamentos, possivelmente devido à alteração no metabolismo das folhas inferiores, em que as taxas de degradação superam as de síntese.

## **6.5 Resumo e conclusões**

Neste capítulo, foram analisados a interceptação da radiação, o comportamento do dossel quanto à disposição e orientação das folhas, o coeficiente de extinção da

radiação, a eficiência de uso da radiação e a eficiência de conversão da radiação, nos diversos períodos do ciclo, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF.

Os valores máximos de interceptação de radiação solar, em 1997/98, foram 97,75, 97,79, 97,53 e 96,65% para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente, enquanto em 1998/99, foram 97,24, 94,29, 97,83 e 98,05% para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente, mostrando pouca diferença na interceptação, apesar das diferenças no IAF.

Em geral, para um dado IAF, o tratamento ISFV interceptou mais radiação do que NIFF, que interceptou mais que NIFV, que interceptou mais que IPTP, ou seja, a interceptação aumentou com o grau de sombreamento, embora o estresse hídrico tenha feito com que NIFV interceptasse menos que NIFF.

Este resultado foi confirmado pelos valores de k, que seguiram a mesma tendência, ou seja, valores maiores para os tratamentos com sombreamento mais intenso.

Em geral, na fase vegetativa, os tratamentos que estiveram sob algum sombreamento, apresentaram aumento na EUR, confirmando nossa hipótese de que a diminuição na quantidade de radiação interceptada faz com que a cultura aumente sua EUR, embora não sendo na mesma proporção.

Na fase de florescimento, no ensaio de 1998/99, NIFF apresentou aumento de 7% e na fase reprodutiva aumento de 21%. Os demais tratamentos apresentaram queda na EUR.

Com exceção da fase vegetativa, no tratamento ISFV, a EUR foi sempre menor do que nos demais tratamentos. Embora tenha aumentado a eficiência de interceptação da radiação, este tratamento não conseguiu aumentar a eficiência de uso da radiação.

Relativamente à eficiência de conversão da energia solar, o estresse hídrico na fase vegetativa aumentou a eficiência de conversão da radiação, o mesmo ocorrendo com o sombreamento.

A cultura de soja possui, em geral, grande habilidade para lidar com situações adversas, mudando seu comportamento para otimizar o uso dos recursos.

## **6.6 Estudos futuros**

Sugere-se a realização de estudos sobre a eficiência de uso da radiação, variando-se a densidade de plantas e utilizando instrumentos que permitam o registro instantâneo dos valores dos elementos climáticos, possibilitando maior precisão e confiabilidade dos resultados.

## **7. EFICIÊNCIA DE USO DA ÁGUA**

### **7.1 Introdução**

A produção de matéria seca, por unidade de água utilizada por uma cultura, depende das respostas, do crescimento e do uso da água, às condições ambientais (LOOMIS & CONNOR, 1992).

Considerando que, no Brasil, a época de cultivo de soja coincide com grandes variações de temperatura e, ainda, que esta cultura apresenta um descontrole estomatal crescente, de acordo com o aumento da temperatura (BOLTON, 1981), o estudo sobre o uso eficiente da água (UEA), nas diferentes fases fenológicas, é relevante.

### **7.2 Eficiência do uso da água nas fases fenológicas**

Neste capítulo, é apresentado um estudo sobre o uso eficiente da água, nas fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos, na cultura de soja submetida aos tratamentos de estresse por sombreamento (ISFV) e estresse hídrico (NIFV) na fase vegetativa, estresse hídrico na fase de florescimento (NIFF) e irrigação por todo o período (IPTP), em dois anos de ensaio experimental, isto é, 1997/98 e 1998/99.

#### **7.2.1 Lâminas de água aplicadas e evapotranspiradas**

A lâmina de água evapotranspirada, em cada fase fenológica, variou entre os tratamentos (Quadro 7.2) em função do objetivo de cada um. A lâmina de água evapotranspirada acumulada foi igual para IPTP e ISFV, diferindo daquelas de NIFV e NIFF.

Os valores totais das lâminas acumuladas, desde o início até R8, aplicadas em cada tratamento no ensaio de 1997/98, foram 736,6 mm para IPTP; 710,9 para ISFV; 532,6 para NIFV e 380,3 para NIFF, valores estes atingidos aos 106, 101, 104 e 103 DAS, respectivamente (Figura 7.1 (a)). Com exceção de NIFF, os valores encontrados estiveram dentro dos limites que atendem à demanda de água na cultura de soja, para a qual CARTTER & HARTWIG (1962) encontraram valores entre 508 e 762 mm e PASCALE (1969) encontrou 450 a 800 mm.

Em 1997/98, no final da fase vegetativa, as lâminas aplicadas foram 320,0, 337,0, 113,4 e 188,2 mm, alcançadas aos 53, 56, 53 e 52 DAS, em IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente (Figura 7.1 (a)).

No final da fase de florescimento, os valores de água aplicada, acumulados desde o início do ciclo, foram 546,2 mm para IPTP, alcançado aos 74 DAS; 550,6 mm para ISFV, alcançado aos 76 DAS; 352,5 mm para NIFV, alcançado aos 73 DAS enquanto para NIFF o valor atingido foi 188,2 mm, isto é, o mesmo valor atingido fase vegetativa, uma vez que este tratamento não recebeu aplicação de água nesta fase, isto até aos 75 DAS, que corresponde ao final de sua fase de florescimento (Figura 7.1 (a)).

No final da fase de enchimento de grãos, aqui considerada como a data em que ocorre o valor mais elevado de MS acumulada, que é também considerada para verificação da eficiência de uso da água (EUA) no ciclo total, os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF atingiram, desde o início do ciclo até 103, 101, 94 e 96 DAS, os valores de 722,7, 710,9, 497,8 e 351,3 mm, respectivamente (Figura 7.1 (a)).

No ensaio de 1998/99, os valores de lâmina de água aplicada acumulada até R8 foram 883,8, 881,5, 378,1 e 336,4 mm, para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, atingidos aos 126, 125, 124 e 121 DAS, respectivamente. Nos tratamentos IPTP e ISFV, os valores estiveram acima do limite estabelecido por CARTTER & HARTWIG (1962) e por PASCALE (1969) enquanto nos tratamentos NIFV e NIFF, estiveram abaixo do mínimo estabelecido pelos mesmos autores (Figura 7.1 (b)).

Os valores alcançados, até o final da fase vegetativa, foram 339,1 mm para IPTP e ISFV, aos 56 DAS; 98,4 mm para NIFV, aos 54 DAS, e 172,4 mm para NIFF aos 55 DAS (Figura 7.1 (b)).

Ao final da fase de florescimento, o valor aplicado das lâminas de água acumuladas desde o início do ciclo, foi 496,4 mm para IPTP e ISFV, atingido aos 79 DAS; 215,4 mm para NIFV, atingido aos 75 DAS; e de 172,4 mm para NIFF,

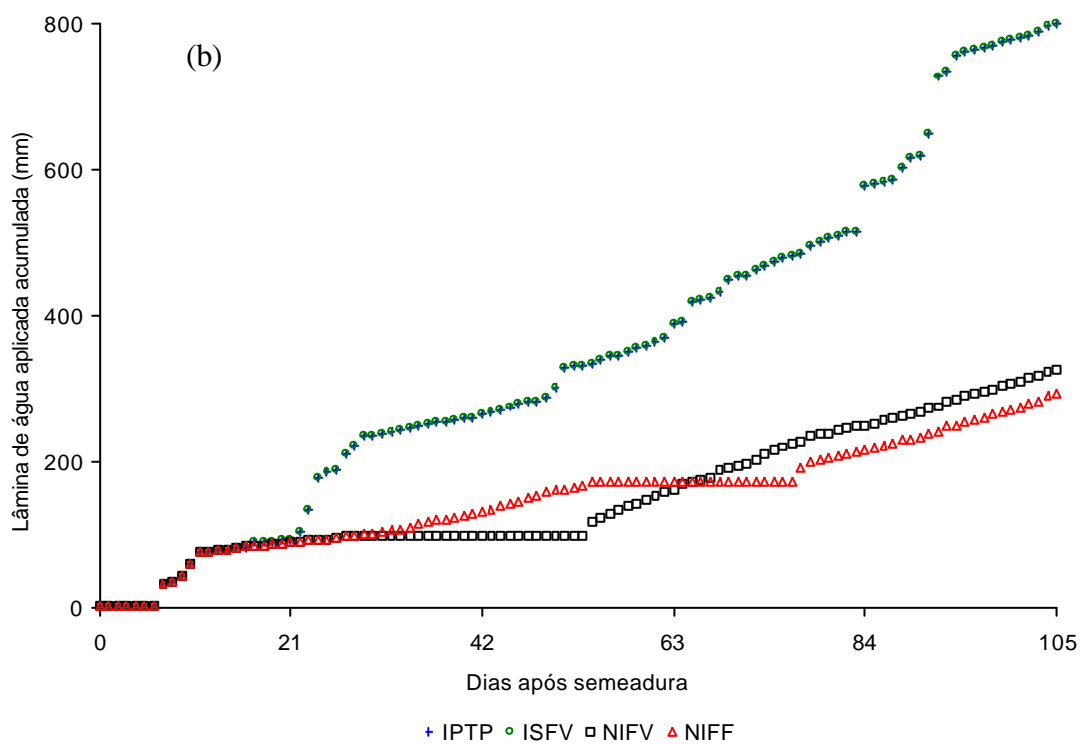
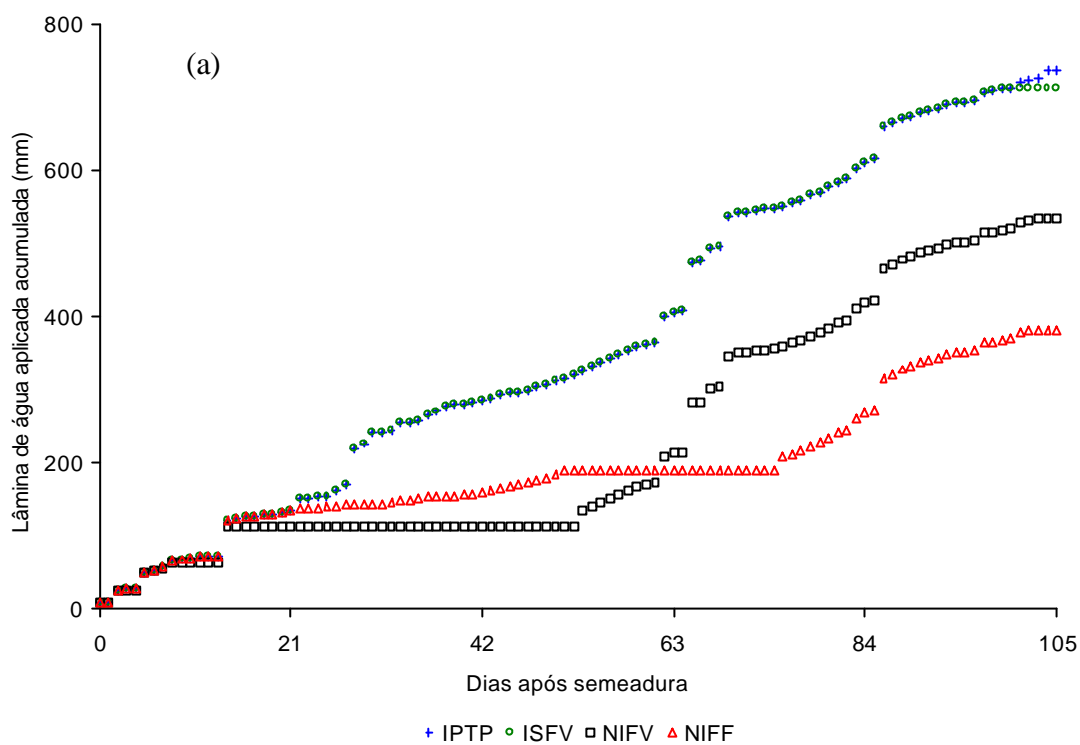


Figura 7.1 – Lâmina de água aplicada acumulada ao longo do ciclo da cultura de soja nos diversos tratamentos, nos ensaios de 1997/98 (a) e de 1998/99 (b).

atingido aos 77 DAS, demonstrando que este tratamento não recebeu aplicação de água (Figura 7.2), durante esta fase.

No ponto de valor máximo de acúmulo de MS, considerado como ponto para cálculo do final do ciclo total, os valores da lâmina de água acumulada desde o início do ciclo foram 823,8 mm para IPTP, atingido aos 109 DAS; 769,1 mm para ISFV, atingido aos 99 DAS; 347,8 mm para NIFV, atingido aos 112 DAS, e 260,9 mm para NIFF, atingido aos 98 DAS.

Esta grande diferença, ocorrida no ensaio de 1998/99, foi devida ao período de cobertura plástica ter sido diferente, nos dois ensaios. Em 1997/98, a cobertura plástica foi retirada logo após o término da fase, enquanto no experimento de 1998/99 esta permaneceu por todo o tempo, protegendo a cultura contra chuva e possibilitando para que esta só recebesse água proveniente de irrigação. Desta forma, as diferenças entre as lâminas aplicadas nos tratamentos IPTP e ISFV e entre aqueles sob estresse hídrico, NIFV e NIFF, foram grandes.

Os valores da lâmina de água total aplicada nos tratamentos NIFV e NIFF, no ensaio de 1998/99, e em NIFF no ensaio de 1997/98, sugerem que o limite inferior verificado por CARTTER & HARTWIG (1962) pode ser reduzido, uma vez que a produtividade da cultura, sob estresse na fase vegetativa (NIFV), foi até superior à do tratamento irrigado por todo o período (IPTP).

O uso eficiente da água foi calculado, baseando-se na quantidade de água evapotranspirada e não na água aplicada, uma vez que o uso da água aplicada impediria o cálculo de EUA, durante a aplicação do tratamento, em NIFV e NIFF.

No período em que NIFV esteve sob estresse hídrico, em 1997/98, a deficiência hídrica ou a depleção de água no solo foi de 193,3 mm (água evapotranspirada) menos 113,4 mm (água aplicada por chuva e irrigação no início do ciclo), ou seja, de 79,9 mm. Neste mesmo ensaio, durante a fase de florescimento, NIFF conviveu com uma deficiência hídrica de 75,8 mm.

No ano de 1998/99, as deficiências hídricas em NIFV e NIFF foram de 66,8 e 117 mm, respectivamente, verificadas por meio de sonda de nêutrons (Figura 7.2, Figura 1A e Figuras 4 a 9A).

### **7.2.2 Matéria seca produzida na fase fenológica**

O tratamento IPTP apresentou uma produção de matéria seca, na fase vegetativa (FV), sempre superior aos demais tratamentos, tanto em 1997/98 quanto em 1998/99.

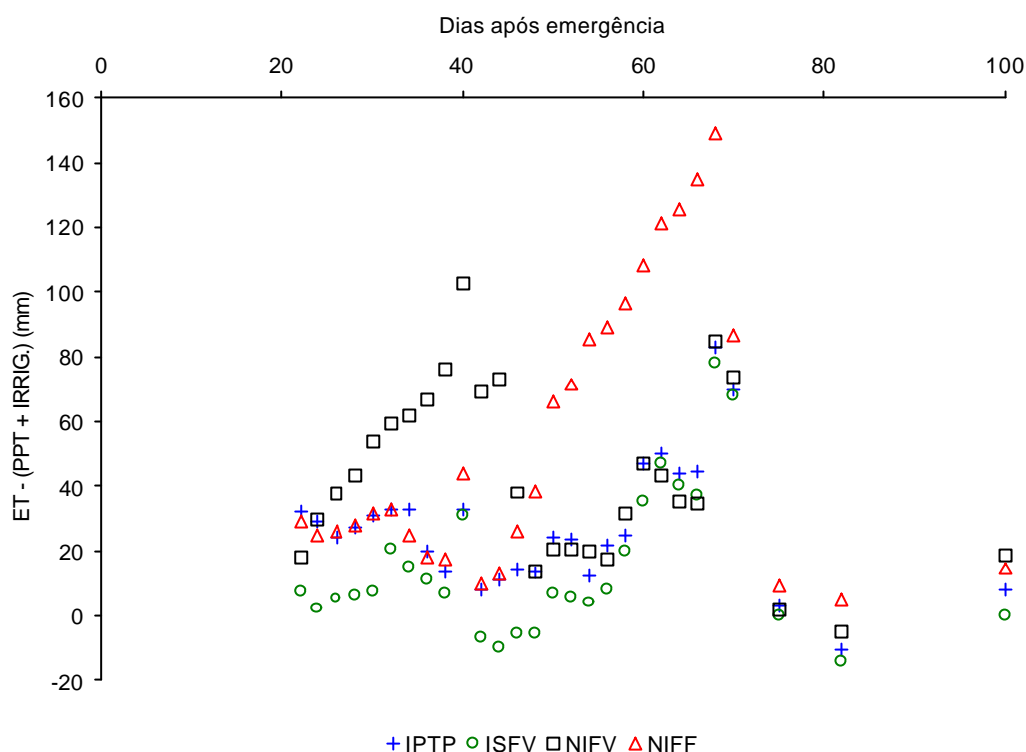


Figura 7.2 – Balanço entre a água perdida pela cultura (evapotranspiração (ET)) e a água agregada à cultura (precipitação mais irrigação (PPT + IRRIG.)) (balanço hídrico) verificado por meio de sonda de nêutrons, no ensaio de 1998/99, em todos os tratamentos.

Em 1997/98, a redução maior ocorreu em ISFV, que produziu 42,67% a menos de matéria seca, em relação a IPTP. NIFV e NIFF apresentaram redução de 19,63 e 14,35%, respectivamente.

Em 1998/99, ISFV apresentou redução de 57,86%, NIFV de 32,02% e NIFF de 44,69% na produção de matéria seca. No segundo ensaio, ocorreu uma queda na produção de matéria seca. Em relação ao ano anterior, IPTP apresentou redução de 14,54%, ISFV de 37,18%, NIFV de 27,71% e NIFF de 44,82% (Quadro 7.1).

A redução na quantidade de MS produzida por NIFF, na fase vegetativa, foi devida ao sombreamento causado pelo polietileno. Já as reduções ocorridas no segundo ensaio, em relação ao primeiro, possivelmente sejam devidas à temperatura mais amena em 1998/99 (Capítulo 3).

Na fase de florescimento (FF), IPTP continuou apresentando maior produção de matéria seca. No ensaio de 1997/98, as reduções em ISFV, NIFV e NIFF foram de 48,30, 5,30 e 5,60, respectivamente. No ensaio de 1998/99, as reduções na mesma seqüência foram de 53,64, 45,87 e 19,06, respectivamente.

Quadro 7.1 – Matéria seca acumulada nas fases vegetativa (FV), florescimento (FF), enchimento de grãos (EG), no ciclo total (CT) e matéria seca dos grãos (P. GRÃOS) em gramas por metro quadrado nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não irrigado na fase de florescimento (NIFF) da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG (g m<sup>-2</sup>)

Ensaio	Tratamento	Fase				
		FV	FF	EG	CT	P. Grãos
1997/98	IPTP	261,3	439,3	577,2	1277,9	315,8
	ISFV	149,8	227,1	383,0	759,9	225,9
	NIFV	210,0	416,0	285,4	911,3	313,3
	NIFF	223,8	414,7	491,8	1130,3	255,2
1998/99	IPTP	223,3	576,2	679,3	1478,8	311,8
	ISFV	94,1	267,1	149,1	510,3	151,0
	NIFV	151,8	311,9	537,6	1001,3	335,7
	NIFF	123,5	466,4	377,7	967,5	216,2

Comparando os dois ensaios, observou-se que, no ano de 1998/99, com exceção de NIFV, todos os tratamentos aumentaram a produção de matéria seca na fase de florescimento, em relação a 1997/98 (Quadro 7.1). IPTP, ISFV e NIFF mostraram um aumento de 31,16%, 17,61% e 12,47%, enquanto NIFV mostrou uma diferença negativa da ordem de 25,02% (Quadro 7.1). Observa-se que, a cultura em 1998/99, a cultura recuperou a matéria seca perdida na fase vegetativa.

Em 1997/98, na fase de enchimento de grãos (EG), permaneceu a tendência para maior valor de MS em IPTP, que apresentou reduções de 33,65, 50,55 e 14,80% para ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente. No ano de 1998/99, as reduções para os mesmos tratamentos, em relação a IPTP, foram de 78,05, 20,86 e 44,40%, respectivamente. IPTP e NIFV apresentaram uma produção de MS maior, nesta fase, em 1998/99 (Quadro 7.1).

No ciclo total (CT), em que se considera o ponto de máxima produção de matéria seca para verificação da EUA, as reduções na matéria seca produzida nos tratamentos ISFV, NIFV e NIFF, com relação a IPTP, foram de 40,54, 28,69 e 11,55%, em 1997/98, enquanto em 1998/99 foram 65,49, 32,29 e 34,58%. Comparando os dois experimentos, verifica-se que a mesma tendência ocorreu para enchimento de grãos, ou seja, ISFV e NIFF apresentaram valores de MS menores, em 1998/99.

Para a produção de grãos (P. Grãos), em 1997/98, os valores apresentaram a mesma tendência, sendo o maior valor obtido por IPTP. ISFV mostrou uma queda de 28,47% e NIFF de 19,19%. NIFV apresentou valor praticamente igual a IPTP.

No ensaio de 1998/99, NIFV apresentou maior valor para MS de grãos. Em relação a NIFV, houve uma queda de 7,12% em IPTP, de 55,02% em ISFV e de 35,60% em NIFF (Quadro 7.1).

Entre os anos, o mais estável foi IPTP, com uma variação de apenas 1,27%, seguido por NIFV, NIFF e ISFV, os quais apresentaram variação de 6,67, 15,28 e 33,16%, respectivamente (Quadro 7.1).

Em geral, o tratamento IPTP apresentou, sempre, o maior valor de MS em todas as fases, nos dois ensaios, sendo, o que apresentou valores maiores de MS nas fases vegetativa e de florescimento, em relação ao tratamento que estava sob estresse hídrico. O tratamento ISFV foi o que menos produziu matéria seca, tanto na parte vegetativa quanto em grãos.

Os dados de MS de grãos do tratamento NIFV e NIFF (Quadro 7.1) estão de acordo com aqueles encontrados por PEREIRA (1998) que, trabalhando com esta cultura, encontrou um valor de 314 gramas, por metro quadrado, para NIFV e 238 gramas para NIFF. Em IPTP, os valores encontrados no presente trabalho são superiores àquele encontrado por PEREIRA (1998), que foi 295 gramas por metro quadrado. Nas fases estudadas, a produção de matéria seca de partes vegetativas foi maior, em comparação àquela obtida por PEREIRA (1998).

### **7.2.3 Eficiência de uso da água**

A eficiência de uso da água (EUA) na cultura de soja (Quadro 7.3), a qual é resultado da divisão dos valores do Quadro 7.1 pelos valores do Quadro 7.2, variou entre tratamentos e entre as fases fenológicas.

No ensaio de 1997/98, na fase vegetativa, NIFF e NIFV apresentaram os maiores valores de EUA (1,2 e 1,1 gMS kg<sup>-1</sup>água, respectivamente), enquanto IPTP e ISFV apresentaram os menores valores (0,8 e 0,4 gMS kg<sup>-1</sup>água, respectivamente) (Quadro 7.3). Este comportamento era esperado, uma vez que a cultura em condições de estresse hídrico (NIFV) tende a apresentar um melhor uso da água, em virtude da otimização realizada pela menor abertura estomatal (TAIZ & ZEIGER, 1991). O fato de NIFF ter apresentado um valor mais elevado de EUA, nesta fase, pode ser explicado pela qualidade do ambiente, ou seja, como recebeu apenas água proveniente da irrigação

Quadro 7.2 – Lâmina de água evapotranspirada nas fases vegetativa (FV), florescimento (FF), enchimento de grãos (EG), no ciclo total (CT) e matéria seca dos grãos (P. Grãos) em gramas por metro quadrado, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não irrigado na fase de florescimento (NIFF) da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG (kg m<sup>2</sup> ou mm)

Ensaio	Tratamento	Fase				
		FV	FF	EG	CT	P. Grãos
1997/98	IPTP	320,0	226,2	179,8	722,7	736,6
	ISFV	337,0	213,6	160,3	710,9	710,9
	NIFV	193,3	239,1	128,5	560,9	612,5
	NIFF	188,2	75,8	167,6	431,7	456,2
1998/99	IPTP	339,1	157,3	327,1	823,5	882,7
	ISFV	339,1	157,3	270,4	766,9	880,5
	NIFV	165,2	117,0	131,8	413,9	444,7
	NIFF	172,4	153,2	88,7	414,3	488,0

Quadro 7.3 – Eficiência de uso da água nas fases vegetativa (FV), florescimento (FF), enchimento de grãos (EG), no ciclo total (CT) e para produção de matéria seca dos grãos (P. Grãos) em gramas de matéria seca, por milímetros de água, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não irrigado na fase de florescimento (NIFF) da cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG (gMS kg<sup>-1</sup> água)

Ensaio	Tratamento	Fase				
		FV	FF	EG	CT	P. Grãos
1997/98	IPTP	0,8166	1,9423	3,2111	1,7602	0,4287
	ISFV	0,4444	1,0631	2,3896	1,0689	0,3178
	NIFV	1,0863	1,7398	2,2203	1,6247	0,5116
	NIFF	1,1892	5,4686	2,9340	2,6185	0,5594
1998/99	IPTP	0,6584	3,6628	2,0770	1,7957	0,3533
	ISFV	0,2775	1,6976	0,5514	0,6654	0,1715
	NIFV	0,9189	2,6667	4,0800	2,4191	0,7549
	NIFF	0,7163	3,0433	4,2588	2,3352	0,4430

e não foi submetida a estresse, NIFF otimizou os recursos, apresentando alta taxa de produção de matéria seca, ao passo que IPTP recebeu água da chuva e complemento da evapotranspiração com irrigação. Dessa forma o que diferenciou IPTP de NIFF foi a quantidade de água agregada pela chuva, uma vez que NIFF apresentou até mesmo uma produção de MS menor que IPTP (Quadro 7.1). O baixo valor de EUA, apresentado por ISFV, foi decorrente da alta quantidade de água agregada (precipitação mais irrigação) e da baixa quantidade de matéria seca produzida, ou seja, sob estresse por sombreamento, a cultura apresentou baixa taxa de produção de MS, provocada pela insuficiência de radiação, para uma taxa fotossintética adequada.

No ensaio de 1998/99, IPTP e NIFF apresentaram o mesmo valor de EUA, indicando que NIFF produziu, como IPTP, uma quantidade de MS compatível com a quantidade de água recebida. NIFV apresentou o maior valor de EUA, indicando otimização do recurso água. Como no ensaio de 1997/98, ISFV apresentou o menor valor de EUA na fase vegetativa, possivelmente, pelos mesmos motivos explicados anteriormente.

Na fase de florescimento, ocorreu um aumento da EUA em todos os tratamentos, em relação à fase anterior. Isto se deve ao fato de que, nesta fase, a cultura encontra-se nos níveis mais elevados de taxa de produção de matéria seca, uma vez que, com seu aparato fotossintético quase completamente formado, ela possui maior capacidade de produção. Outro fator influente nesta fase é a estrutura do dossel, que, sendo maior, faz com que se forme uma microbarreira aumentando a resistência do dossel à perda de água. Dessa forma, a cultura apresenta uma maior quantidade de folhas, que podem realizar fotossíntese sem se expor muito à perda de água, ao contrário do que ocorre na fase vegetativa, em que grande parte do período se passa com o dossel composto de plantas isoladas. Estes fatores, conseqüentemente, levam ao aumento da EUA na fase de florescimento.

No ensaio de 1997/98, na fase de florescimento, a cultura sob estresse hídrico (NIFF) apresentou o maior valor de EUA, seguida por IPTP, NIFV e ISFV. Os altos valores de EUA, apresentados por IPTP e NIFV, foram decorrentes da alta taxa de produção de MS, ocorrida também em NIFF.

No ensaio de 1998/99, IPTP foi superior a NIFF, durante a fase de florescimento, em conseqüência da extraordinária produção de matéria seca. ISFV apresentou o menor valor, sendo, mais uma vez, prejudicado por seu desempenho na produção de MS, enquanto NIFV apresentou um valor alto, apenas 10% menor que NIFF (Quadro 7.3).

Na fase de enchimento de grãos (aqui considerada como o período entre o final da fase de florescimento e o ponto de máxima produção de MS, podendo, portanto, ser um período longo ou curto), no primeiro ensaio, a EUA variou de 2,2 a 3,2 gMS kg<sup>-1</sup>água, ou seja, uma variação de 31,25%. Nesse ensaio, o menor valor foi de NIFV e o maior de IPTP.

No ensaio de 1998/99, ainda na fase de enchimento de grãos (EG), os maiores valores foram de NIFV e NIFF e o menor de ISFV.

No período entre o início do ciclo e o ponto de máximo acúmulo de MS, considerado como ciclo total, a EUA seguiu a tendência das fases vegetativa e de florescimento. No ensaio de 1997/98, os valores de EUA seguiram a mesma tendência da fase vegetativa, ou seja, o maior valor foi apresentado por NIFF, seguido por IPTP, NIFV e ISFV. No ensaio de 1998/99, a tendência dos resultados foi semelhante àquela da fase vegetativa, ou seja, NIFV apresentou o maior valor de EUA, seguido por NIFF, IPTP e ISFV.

A eficiência de uso da água para produção de grãos apresentou a mesma tendência da fase vegetativa e, por conseguinte, do ciclo total. No ensaio de 1997/98, NIFF mostrou maior eficiência, seguido por NIFV, IPTP e ISFV. No ensaio de 1998/99, como na fase vegetativa, a maior eficiência foi apresentada por NIFV, seguido por NIFF e IPTP, que apresentaram o mesmo valor, e ISFV, que apresentou o menor valor, tanto em 1997/98 quanto em 1998/99.

Em geral, os tratamentos que foram submetidos ao estresse hídrico, em alguma fase fenológica, tenderam a ter uma EUA maior, em relação ao tratamento IPTP, sendo que a cultura foi mais eficiente quando passou por estresse hídrico na fase vegetativa (NIFV). Sob sombreamento, a cultura ficou debilitada, a ponto de sua estrutura fotossintética ser comprometida, sendo sua capacidade de recuperação diminuída, o que levou às plantas do tratamento ISFV a terem uma baixa resposta à condição hídrica adequada do solo.

Estes resultados estão de acordo com os obtidos por SCOTT et al. (1987), que encontraram valores médios de UEA de 2,25 gMS kg<sup>-1</sup>água para matéria seca total, e 0,42 gMS kg<sup>-1</sup>água, para grãos.

### **7.3 Comportamento da eficiência de uso da água**

A fim de verificar o comportamento geral da EUA para produtividade de grãos e matéria seca, uma curva polinomial de terceiro grau, cujos parâmetros se encontram no

Quadro 7.4, foi ajustada aos dados de matéria seca de grãos por água agregada (Figura 7.3 (a)) e aos dados de matéria seca, produzida em todas as fases fenológicas em função da lâmina de água agregada (Figura 7.3 (b)). O mesmo modelo foi ajustado para cada fase (Figura 7.4). Esses ajustes não levaram em conta os tratamentos, pois, objetivou-se verificar a resposta da cultura à lâmina de água aplicada. Para esta análise, considerou-se que a aplicação de água é feita de maneira adequada, observando os períodos críticos ao longo do ciclo da cultura.

No caso de grãos, pode-se dizer que a cultura ajusta-se bem a lâminas de água variando de 450 a 750 mm e que lâminas superiores a 750 mm tornam-se indispensáveis, levando a crer que poderá estar havendo desperdício de água. Assim, para grãos, há um aumento na EUA à medida que a lâmina é diminuída (Figura 7.3 (a)).

Para produção de matéria seca (Figura 7.3 (b)), há também um aumento na EUA até os 750 mm, podendo-se verificar que, a partir de 450 mm até 750 mm, a variação na EUA pode ser considerada pequena. Tanto para grãos quanto para matéria seca, estes valores estão na faixa estabelecida por CARTTER & HARTWIG (1962), embora o limite inferior verificado neste trabalho seja menor, indicando que o limite inferior pode baixar, no caso de cultura de soja de ciclo curto, de 508, estabelecido pelos autores acima, para 450 mm, verificado neste estudo. Vale ressaltar que esta lâmina deve ser otimizada, respeitando os períodos críticos, implantação da cultura (fase inicial), florescimento e início de enchimento de vagens.

Quanto às fases, verificou-se que na fase vegetativa a cultura aumentou, linearmente, a EUA de 150 mm para 300 mm, quando, então, inicia-se sua queda (Figura 7.4 (a)). Na fase de florescimento (Figura 7.4 (b)), a variação foi pequena entre 100 e 200 mm, indicando que, nesta fase, a cultura necessita de um mínimo de 100 mm. Na fase de enchimento de grãos (Figura 7.4 (c)), a EUA aumentou de 80 a 150 mm, indicando que, nesta fase, 150 mm é uma lâmina que atende bem à cultura. Para o ciclo total (Figura 7.4 (d)), em que se verifica a produção de matéria seca até o ponto máximo, os resultados coincidem com aqueles apresentados na Figura 7.3, indicando uma variação entre 450 e 750 mm. Analisando juntamente as três fases, verifica-se que um somatório para o ótimo, nas três fases, resulta numa demanda de água em torno de 550 mm, ou seja, 300 mm na fase vegetativa, 100 mm na fase de florescimento e 150 mm na fase de enchimento de grãos.

Os resultados obtidos permitem estimar a produção de grãos, multiplicando-se a EUA pela água transpirada e pelo índice de colheita (produção de grãos = água transpirada \* eficiência de uso da água \* índice de colheita).

Quadro 7.4 – Parâmetros da equação polinomial de terceiro grau ajustada aos dados de matéria seca de grãos (P. Grãos) em função da lâmina de água aplicada, matéria seca produzida em qualquer fase (MS) em função da lâmina aplicada naquela fase, matéria seca produzida na fase vegetativa (Veg), na fase de florescimento (Flor), na fase de enchimento de grãos (Grãos) e no ciclo total (CT), na cultura de soja, nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Fase	Parâmetros				r
	a	b	c	d	
P. Grãos	1638,9639	-6,6930	0,0106	0,0000	0,221
MS	521,2104	-2,5756	0,0098	0,0000	0,645
VEG	1284,6210	-20,6307	0,1139	-0,0002	0,638
FLOR	-37,4644	11,0250	-0,0827	0,0002	0,183
GRÃOS	-1040,4029	25,7596	-0,1391	0,0002	0,403
CT	-6441,2104	42,3284	-0,0776	0,0000	0,356

#### 7.4 Medidas instantâneas da eficiência de uso da água

No ensaio de 1998/99, foram realizadas medições instantâneas de transpiração e condutância estomática e derivados os valores de razão de transpiração e eficiência de uso da água, utilizando o medidor de fotossíntese PP – SYSTEMS CIRAS-1. Estes parâmetros foram verificados contra o aumento da quantidade de radiação incidente.

A razão de transpiração foi obtida do seguinte modo: multiplicou-se a transpiração (milimol) por 0,001 (para passar para mol) e ainda por 18,01 (peso atômico da molécula de água); o resultado desta operação foi dividido pelo valor da fotossíntese (micromol) multiplicado por 0,000001 (para passar para mol) e ainda por 44 (peso atômico da molécula de CO<sub>2</sub>) obtendo-se, assim, o valor da razão de transpiração em gH<sub>2</sub>O g<sup>-1</sup>CO<sub>2</sub>.

A eficiência de uso da água foi obtida do seguinte modo: multiplicou-se o valor da fotossíntese (micromol) por 0,000001 (para passar para mol) e ainda por 44 (peso atômico da molécula de CO<sub>2</sub>); o resultado desta operação foi dividido pelo valor da transpiração (milimol) multiplicado por 0,001 (para passar para mol) e ainda por 18,01 (peso atômico da molécula de água), obtendo-se, assim, o valor da EUA em gCO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>O.

Na fase vegetativa, a transpiração aumentou à medida que a densidade de fluxo de fótons fotossintéticos aumentou. As plantas do tratamento NIFV tenderam a apresentar uma transpiração menor até 1200 micromol de PAR. Com a incidência de maior quantidade de radiação, houve tendência para aumento na transpiração, que alcançou valores superiores aos dos demais tratamentos (Figura 7.5 (a)).

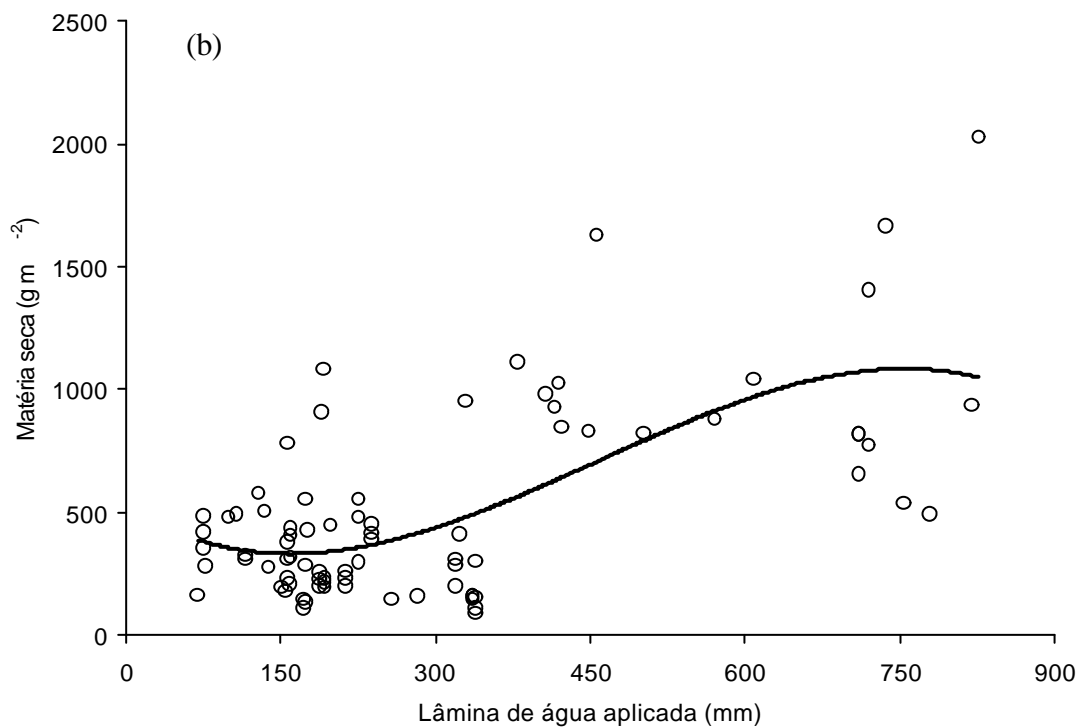
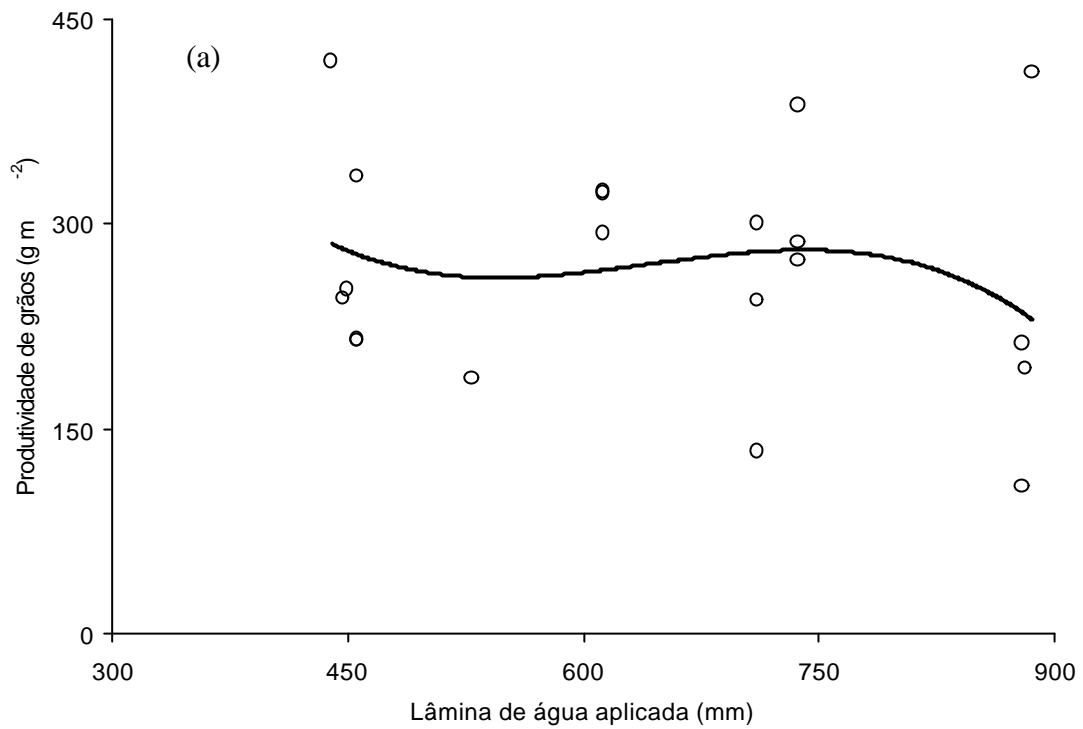


Figura 7.3 – Produtividade de grãos em função da lâmina de água total aplicada durante todo o ciclo da cultura (a) e produção de matéria seca em qualquer fase em função da lâmina aplicada (b) independentemente do tratamento aplicado.

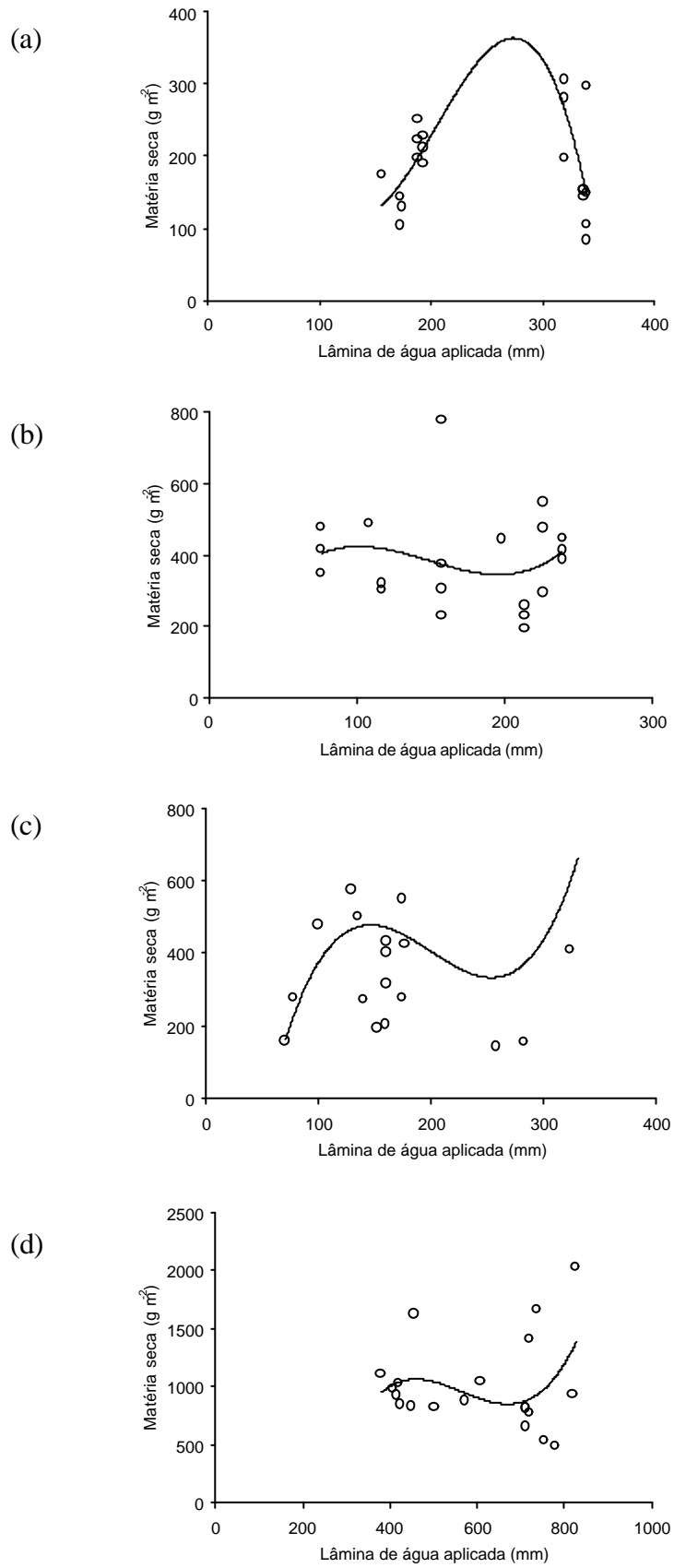


Figura 7.4 – Relação entre lâmina de água aplicada e produção de matéria seca nas fases vegetativa (a), de florescimento (b), enchimento de grãos (c) e ciclo total, independentemente do tratamento aplicado.

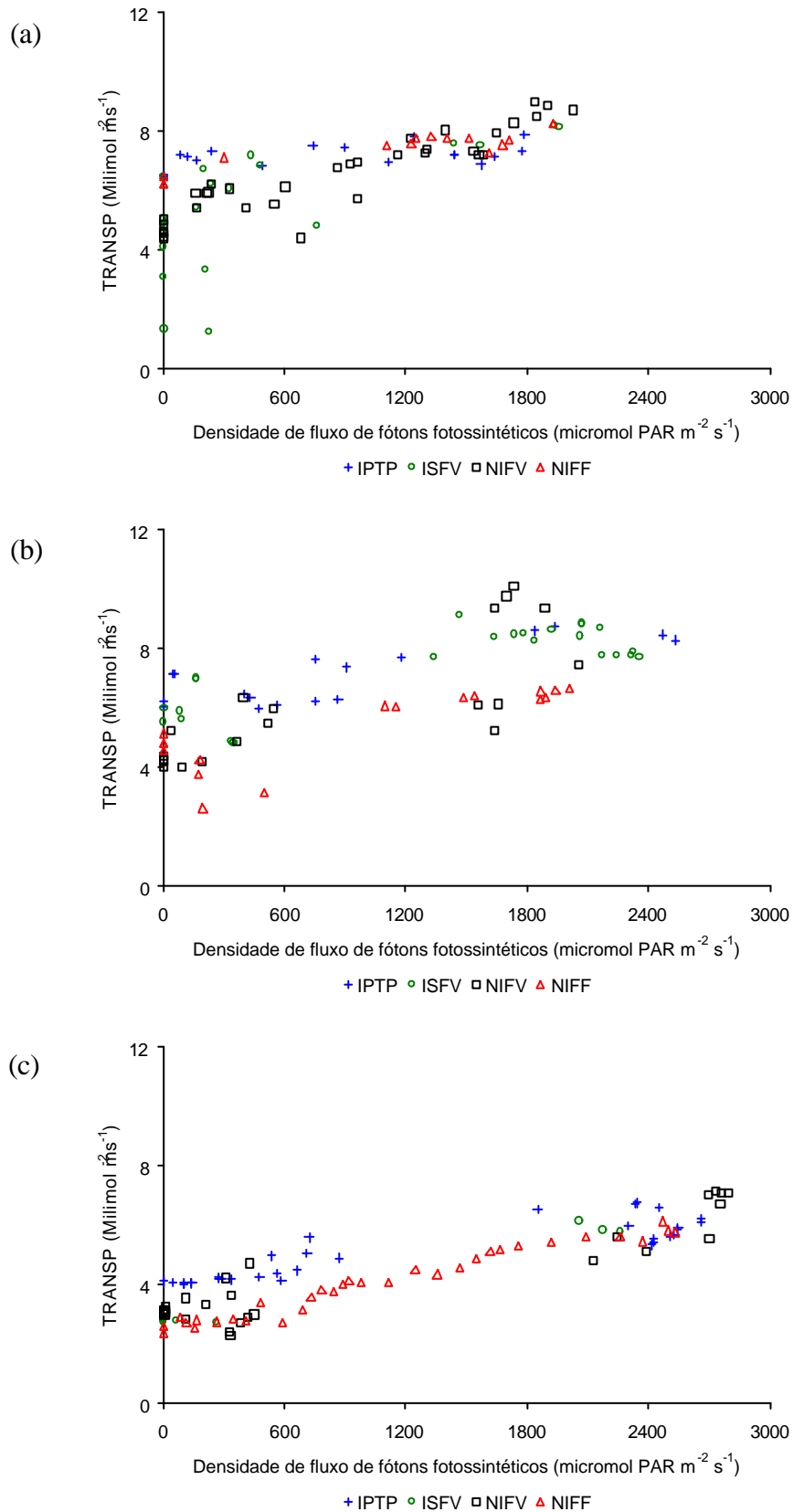


Figura 7.5 – Transpiração (TRANSP) aos 41 DAE na fase vegetativa (a), aos 62 DAE na fase de florescimento (b) e aos 88 DAE na fase de enchimento de grãos (c) em todos os tratamentos, no ensaio realizado em 1998/99 em Viçosa-MG.

Na fase de florescimento, o tratamento NIFF, sob estresse hídrico, apresentou valores de transpiração sempre menores que os demais tratamentos (Figura 7.5 (b)).

Na fase de enchimento de grãos (Figura 7.5 (c)), ocorreram diminuições nos valores da transpiração, em todos os tratamentos, indicando uma diminuição na atividade fotossintética das folhas, embora esses valores estejam de acordo com aquele indicado na literatura (TAIZ & ZEIGER, 1991; NOBEL, 1991). O tratamento NIFF apresentou menores valores de transpiração, nesta fase.

A razão de transpiração diminuiu com o aumento da irradiância, em todos os tratamentos e em todas as fases (Figura 7.6). Embora parte do dossel sempre esteja sob baixa incidência de radiação, como visto no Capítulo 6 (Figuras 6.7 a 6.10), os valores apresentados para razão de transpiração estiveram, para maiores irradiâncias, abaixo daqueles encontrados na literatura para plantas  $C_3$  (TAIZ & ZEIGER, 1991; NOBEL, 1991).

De acordo com a EUA na fase vegetativa (Figura 7.7 (a)), NIFV apresentou os maiores valores até cerca de 1200 micromol de PAR, enquanto para valores maiores de irradiância, houve uma diminuição na EUA. Os demais tratamentos prosseguiram aumentando, igualmente, a EUA com o aumento na densidade de fluxo de fótons fotossintéticos.

O mesmo ocorreu na fase de florescimento, ou seja, o tratamento NIFF apresentou valores crescentes de EUA até em torno de 1000 micromol de PAR e, a partir daí, estabilizou-se (Figura 7.7 (b)).

Na fase de enchimento de grãos, os tratamentos NIFV e IPTP apresentaram a maior EUA, e o tratamento NIFF o pior desempenho (Figura 7.7 (c)).

Em geral, a EUA da cultura manteve-se dentro do limite verificado por TAIZ & ZEIGER (1991) até, aproximadamente 500 micromol de PAR, sendo que, a partir desta irradiância, os valores foram muito superiores. Pelo visto no Capítulo 6 (Figuras 6.6 a 6.9), isto vale para grande parte das folhas do dossel.

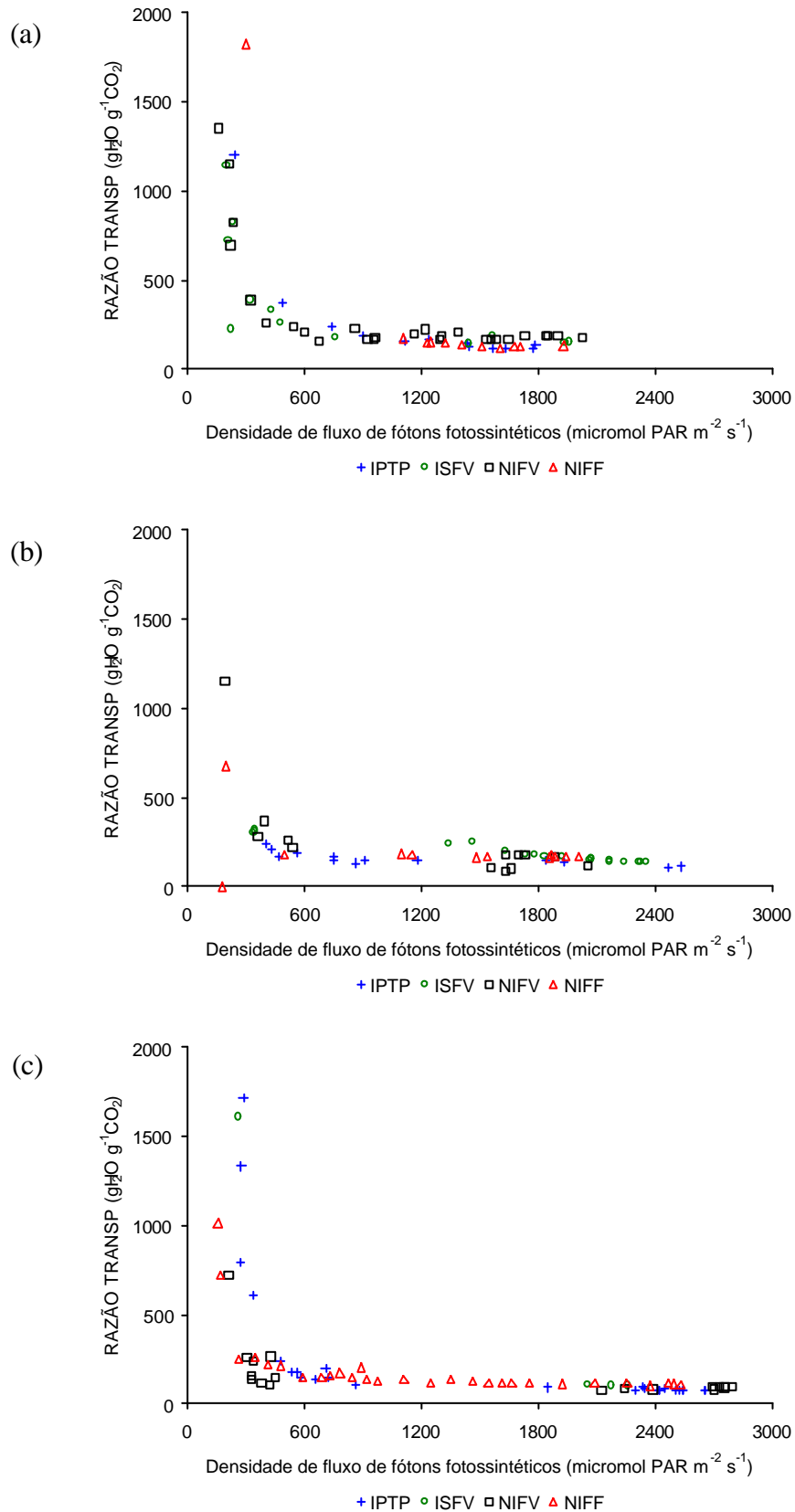


Figura 7.6 – Razão de transpiração (RAZÃO TRANSP) aos 41 DAE na fase vegetativa (a), aos 62 DAE na fase de florescimento (b) e aos 88 DAE na fase de enchimento de grãos (c) em todos os tratamentos, no ensaio realizado em 1998/99 em Viçosa-MG.

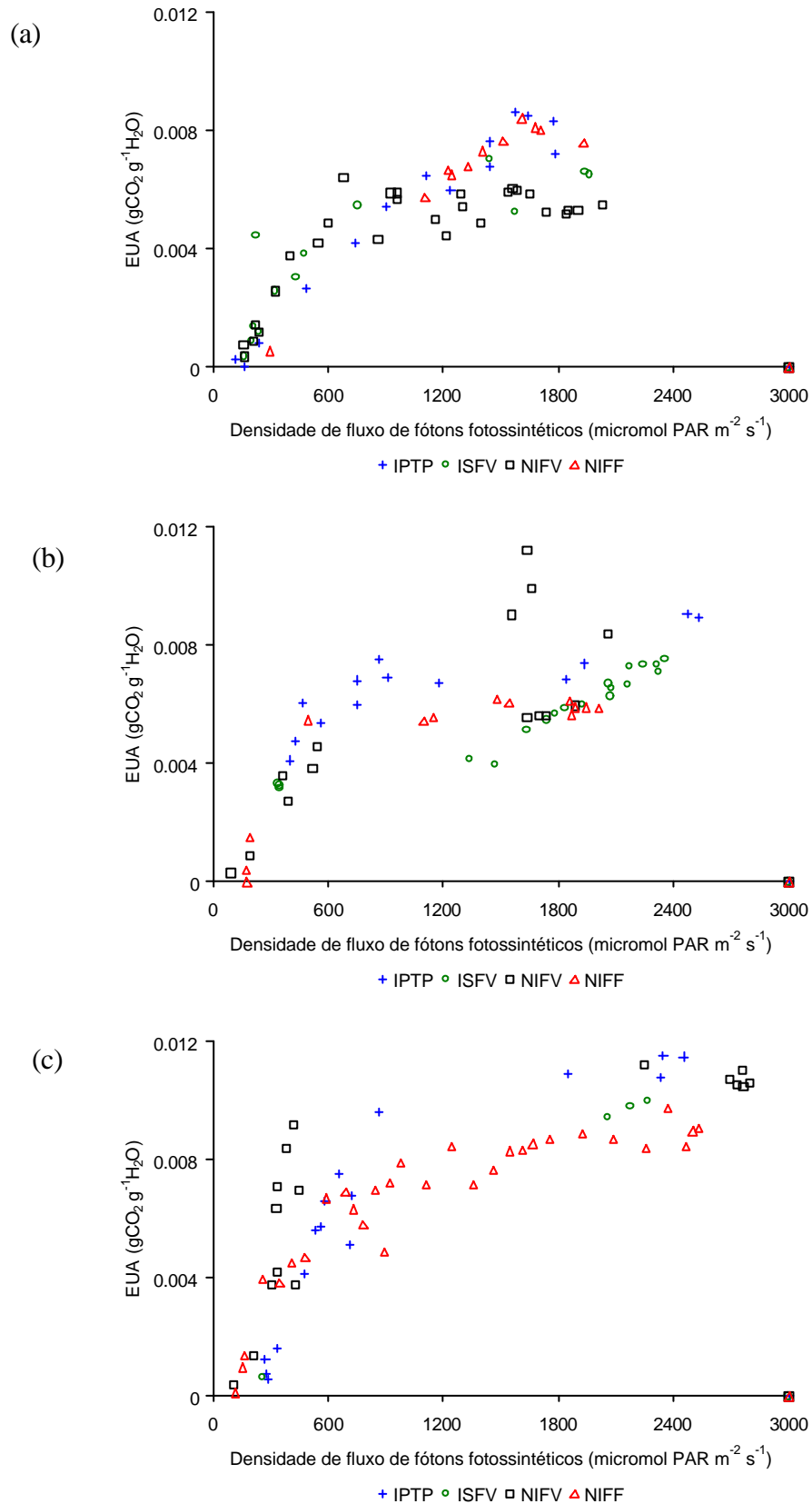


Figura 7.7 – Eficiência de uso da água (EUA) aos 41 DAE na fase vegetativa (a), aos 62 DAE na fase de florescimento (b) e aos 88 DAE na fase de enchimento de grãos (c) em todos os tratamentos, no ensaio realizado em 1998/99 em Viçosa-MG.

## 7.5 Resumo e conclusões

A eficiência do uso da água foi verificada nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, nas fases vegetativa, de florescimento, enchimento de grãos, para o ciclo total e para produtividade de grãos.

Quando sob estresse hídrico na fase vegetativa (NIFV), a cultura apresentou valores elevados de EUA, isto é, 1,1 e 0,9 gMS kg<sup>-1</sup>água, nos ensaios de 1997/98 e 1998/99, respectivamente. No ensaio de 1997/98, NIFF apresentou valor acima deste, com 1,2 gMS kg<sup>-1</sup>água. No ensaio de 1998/99, o valor de NIFV foi o maior nessa fase.

Na fase de florescimento, houve um aumento da EUA, em todos os tratamentos, em relação à fase anterior. O tratamento NIFF apresentou valores mais elevados. Em 1997/98, NIFF apresentou uma EUA de 5,5 gMS kg<sup>-1</sup>água, sendo este o maior valor em relação aos demais tratamentos. No ensaio de 1998/99, NIFF apresentou um valor de EUA de 3,0 gMS kg<sup>-1</sup>água, ficando IPTP com EUA ainda superior, 3,7 gMS kg<sup>-1</sup> água.

Na fase de enchimento de grãos e ciclo total, os tratamentos que sofreram estresse hídrico apresentaram valores de EUA, geralmente, elevados.

A eficiência de uso da água para produtividade de grãos foi maior nos tratamentos que sofreram estresse hídrico, sendo que, em 1997/98, NIFF apresentou o maior valor, 0,6 gMS grãos kg<sup>-1</sup>água e, em 1998/99, NIFV apresentou o maior valor, 0,8 gMS grãos kg<sup>-1</sup>água. O tratamento IPTP, atingiu sempre valores altos de EUA, em todas as fases, às vezes até superiores aos tratamentos estressados. Quanto à produtividade de grãos, IPTP apresentou o mesmo valor nos dois ensaios, isto é, 0,4 gMS grãos kg<sup>-1</sup>água.

Em 1997/98, com exceção da fase de enchimento de grãos, ISFV sempre apresentou valores baixos de EUA. Para produtividade de grãos, este apresentou 0,3 gMS grãos kg<sup>-1</sup>água, em 1997/98, e 0,2 gMS grãos kg<sup>-1</sup>água em 1998/99.

A cultura de soja exige uma quantidade de água que pode variar de 450 a 750 mm.

A eficiência de uso da água instantânea foi maior, nos tratamentos estressados por falta de água, até em torno de 1000 micromol de PAR e, a partir daí, estabilizou-se. Os valores de EUA foram altos, em comparação com aqueles da literatura, atingindo até 0,012 gCO<sub>2</sub> g<sup>-1</sup>H<sub>2</sub>O, em densidade de fluxo de fótons elevada.

Em geral, a cultura tendeu a maximizar a EUA nos tratamentos sob estresse hídrico, entretanto, no tratamento sob estresse por sombreamento, a cultura tendeu a

diminuir muito a EUA. Por estar sob “céu limpo”, o tratamento IPTP tendeu a maximizar a taxa fotossintética e, assim, sua taxa de produção de matéria seca e, conseqüentemente, sua eficiência de uso da água, apresentando valores sempre elevados de EUA.

## **7.6 Estudos futuros**

São necessários estudos direcionados para obtenção da eficiência de uso da água, que determinem os componentes da evapotranspiração, transpiração e evaporação, obtendo-se, assim, valores mais detalhados e precisos, bem como a obtenção de dados da transpiração da planta toda, ao longo do dia.

## 8. FOTOSSÍNTESE

### 8.1 Introdução

A característica mais importante das plantas é sua habilidade para interceptar e absorver a energia solar, utilizando-a para fixar o dióxido de carbono atmosférico em um grupo de moléculas orgânicas mais complexas. O saldo de CO<sub>2</sub> fixado pela planta, ou fotossíntese líquida (P<sub>n</sub>), é a diferença entre a taxa de fixação bruta (P<sub>g</sub>) e a taxa de perda de CO<sub>2</sub> pelo processo respiratório (R) (JONES, 1994).

Neste capítulo é considerada a resposta da taxa fotossintética ao aumento da luz incidente. Medidas de taxa fotossintética foliar, em resposta à luz, foram tomadas em cada tratamento, nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, no ensaio conduzido em 1998/99.

A resposta da taxa de fotossíntese líquida (P<sub>n</sub>) à luz incidente foi descrita pelo ajuste da equação hipérbola retangular aos dados originais, utilizando o programa estatístico STATISTICA (Equação 8.1).

Hipérbola retangular

$$P_n = \frac{\alpha \cdot I \cdot P_m}{\alpha \cdot I + P_m} - R \quad (8.1)$$

em que

P<sub>n</sub> = fotossínteses (μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>);

α = eficiência quântica, ou eficiência inicial em baixos níveis de luz. Esta inclinação inicial da curva de resposta fotossintética tem a unidade de

$(\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}) (\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1})^{-1}$ ; ou seja,  $(\text{mol CO}_2) (\text{mol PAR})^{-1}$ ;

$P_m$  = taxa máxima de fotossínteses em intensidade de luz no ponto de saturação  $(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ ;

$I$  = densidade de fluxo de fótons fotossintéticos  $(\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ ; e

$R$  = taxa de respiração no escuro  $(\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1})$ .

O Quadro 8.1 apresenta os valores dos parâmetros da hipérbola retangular e da fotossíntese em 800 e 2000  $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . Estes dados são usados para comparação em um ponto, onde a curva encontra-se na fase ascendente (800  $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), e em um ponto onde ocorre, em média, a incidência máxima de PAR (2000  $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ).

Valores de PAR superiores a 2000  $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  ocorrem, possivelmente devido à contribuição da reflexão da radiação de outros pontos do ambiente como, por exemplo, nuvens, plantas, solo etc. (Figura 12A).

Quadro 8.1 – Parâmetros obtidos do ajuste da curva de resposta da fotossíntese à luz nas fases vegetativa (41 DAE), de florescimento (62 DAE) e enchimento de grãos (88 DAE) nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF) da cultura de soja, no ensaio realizado durante a estação de cultivo de 1998/99 em Viçosa-MG

DAE	Tratamento	Parâmetros					$r^2$
		$\alpha$	$P_m$	R	$P_{800}$	$P_{2000}$	
41	IPTP	0,0342	56,56	4,49	13,96	26,48	0,994
	ISFV	0,0379	37,44	3,32	13,43	21,73	0,977
	NIFV	0,0401	31,85	3,25	12,73	19,54	0,986
	NIFF	0,0330	68,07	5,30	13,71	28,19	0,994
62	IPTP	0,0580	43,93	4,08	18,49	27,79	0,989
	ISFV	0,0322	45,37	5,12	11,33	21,51	0,979
	NIFV	0,0378	46,75	3,89	14,47	24,99	0,993
	NIFF	0,0481	28,65	5,69	10,74	16,39	0,994
88	IPTP	0,0377	61,58	5,43	14,80	28,45	0,989
	ISFV	0,0228	64,89	4,49	9,74	22,27	0,999
	NIFV	0,0425	48,20	4,39	15,55	26,37	0,994
	NIFF	0,0249	40,67	3,23	10,16	19,18	0,972

O Quadro 8.1 mostra os detalhes das curvas ajustadas aos dados, em que se fez exposição da folha a inúmeras intensidades de fluxo de fótons, desde intensidade zero até intensidades máximas, que às vezes ultrapassam  $2000 \mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . As medições em campo foram conduzidas, tomando-se um grande número de medidas, sendo que, muitas destas, eram descartadas em virtude da dificuldade de equilíbrio das condições necessárias, o que ocorreu, principalmente, devido à grande oscilação da radiação solar incidente.

## 8.2 Parâmetros do modelo

### 8.2.1 Taxa de fotossíntese máxima, a 800 e a 2000 $\mu\text{mol PAR}$

A taxa de fotossíntese máxima ( $P_m$ ), na fase vegetativa, foi menor nos tratamentos estressados. ISFV e NIFV apresentaram uma redução na fotossíntese máxima ( $P_m$ ), em relação a IPTP, de 34 e 44%, respectivamente. A taxa de fotossíntese a  $2000 \mu\text{mol PAR}$  ( $P_{2000}$ ) foi reduzido também, nos mesmos tratamentos, em 18 e 26%, respectivamente. A taxa de fotossíntese a  $800 \mu\text{mol PAR}$  ( $P_{800}$ ) apresentou uma variação menor, de quatro e nove por cento em ISFV e NIFV, respectivamente. NIFF e IPTP apresentaram valores, em todos os parâmetros, bastante próximos entre si (Quadro 8.1).

Na fase de florescimento, NIFF mostrou queda de 35% em  $P_m$ , em relação a IPTP. Em  $P_{2000}$ , a queda foi de 41% e em  $P_{800}$  de 42%. ISFV mostrou um desempenho menor que NIFV e IPTP, nos parâmetros  $P_{2000}$  e  $P_{800}$ .

Na fase de enchimento de grãos, NIFV e NIFF apresentaram uma redução em  $P_m$  de 22 e 34% respectivamente, sendo que NIFF apresentou o pior desempenho, também, em  $P_{2000}$ . Em  $P_{800}$ , o desempenho foi praticamente igual ao de ISFV. NIFV apresentou valores de  $P_{800}$  e  $P_{2000}$  semelhantes aos de IPTP.

Os valores de  $P_m$ , verificados em todas as fases, foram superiores aos observados por COSTA (1994) em *Vicia faba*, sob os tratamentos de estresse por sombreamento e estresse hídrico, que variaram entre  $2,31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , em plantas sob estresse hídrico, a  $27,59 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  em plantas irrigadas.

### 8.2.2 Inclinação inicial da curva de resposta da fotossíntese à luz

A média entre as três fases mostrou os valores de inclinação inicial da curva de resposta da fotossíntese à luz ( $\alpha$ ) de 0,0433, 0,0310, 0,0401 e 0,0353  $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, respectivamente.

Os valores de  $\alpha$  foram, de um modo geral, muito próximos entre si. Na fase vegetativa, a variação de  $\alpha$  foi de 10 e 15% a mais para ISFV e NIFV (Quadro 8.1).

Na fase de florescimento, os valores maiores ocorreram em IPTP e NIFF e o menor valor foi de ISFV, enquanto, na fase de enchimento de grãos, o menor valor foi de ISFV, seguido por NIFF, IPTP e NIFV.

Em geral, IPTP apresentou valores de  $\alpha$  sempre elevados. Os tratamentos estressados na fase vegetativa apresentaram os maiores valores de  $\alpha$ , e na fase de florescimento IPTP e NIFF apresentaram os maiores valores. Na fase de enchimento de grãos, IPTP e NIFV mostraram os maiores valores de  $\alpha$ .

COSTA (1994) observou valores variando entre 0,003 e 0,033 ( $\mu\text{molCO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) ( $\mu\text{mol PAR m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )<sup>-1</sup>. Assim, os valores observados no presente trabalho foram sempre superiores.

### 8.2.3 Respiração

Os valores de respiração (R) estão no Quadro 8.1.

Na fase vegetativa, os tratamentos estressados apresentaram as menores taxas de respiração, ao passo que IPTP e NIFF apresentaram valores próximos. A maior diferença ocorreu entre NIFV e NIFF, os quais apresentaram valores de R de 3,25 e 5,30  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, sendo esta diferença da ordem de 39%.

Na fase de florescimento, a diferença maior em R ocorreu novamente, entre NIFV e NIFF, os quais apresentaram valores de 3,89 e 5,69  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, sendo esta diferença da ordem de 32%.

Na fase de enchimento de grãos, NIFF apresentou o menor valor de R, enquanto os demais tratamentos apresentaram valores de R superiores a 4,3  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ . A maior diferença ocorreu entre NIFF e IPTP, cujos valores de R foram 3,23 e 5,43  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente, sendo a diferença entre os dois tratamentos de 41%.

Em geral, a respiração variou pouco, ficando com uma média geral de  $4,66 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para IPTP;  $4,31 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para ISFV;  $3,85 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para NIFV; e  $4,74 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para NIFF, sendo a maior variação ocorrida entre as médias, de 19%.

Os valores de respiração observados estão de acordo com aqueles encontrados por COSTA et al. (1998).

### 8.3 Fotossíntese

Em geral, a cultura de soja apresentou um desempenho fotossintético ruim nos tratamentos estressados (Figura 8.1). Na fase vegetativa, os tratamentos ISFV e NIFV apresentaram uma fotossíntese menor que os tratamentos não estressados NIFF e IPTP (Figura 8.1 (a)). Tal fato pode ser devido às limitações estomatais no tratamento NIFV (Figura 8.2 (a)) (BOYER, 1976) e no tratamento ISFV, devido a uma menor espessura das folhas que levou a uma menor área de superfície interna ocasionando uma maior resistência do mesófilo (HOLMGREN, 1968; NOBEL et al., 1975). Na fase de florescimento, o tratamento estressado apresentou fraco desempenho fotossintético, em relação aos demais (Figura 8.1 (b)), sendo o principal responsável a limitação estomatal (Figura 8.2 (b)). Na fase de enchimento de grãos, NIFF e ISFV não apresentam uma fotossíntese equiparada àquela de NIFV e IPTP (Figura 8.1 (c)).

Na Figura 8.1, observa-se que o tratamento ISFV não recuperou sua capacidade fotossintética, após a suspensão do estresse. NIFF também não mostrou recuperação de sua capacidade fotossintética, podendo isto ter sido provocado pela menor quantidade de grãos, que levou a cultura a diminuir sua fotossíntese por falta de drenos metabólicos (PEET & KRAMER, 1980; CLOUGH et al., 1981; COSTA, 1994).

### 8.4 Condutância estomática

A condutância estomática ( $Cd_{Est}$ ) (Figura 8.2), em geral, aumentou com o aumento da irradiância, em todos os tratamentos e em todas as fases.

O tratamento IPTP apresentou um valor médio em torno de  $1500 \text{ milimol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , tendo este valor diminuído para  $480 \text{ milimol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , na fase de enchimento de grãos.

O tratamento NIFF apresentou um valor médio, na fase vegetativa, de  $1100 \text{ milimol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , tendo este valor diminuído para  $400 \text{ milimol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , na fase de florescimento, quando este tratamento estava sob estresse hídrico, enquanto na fase de

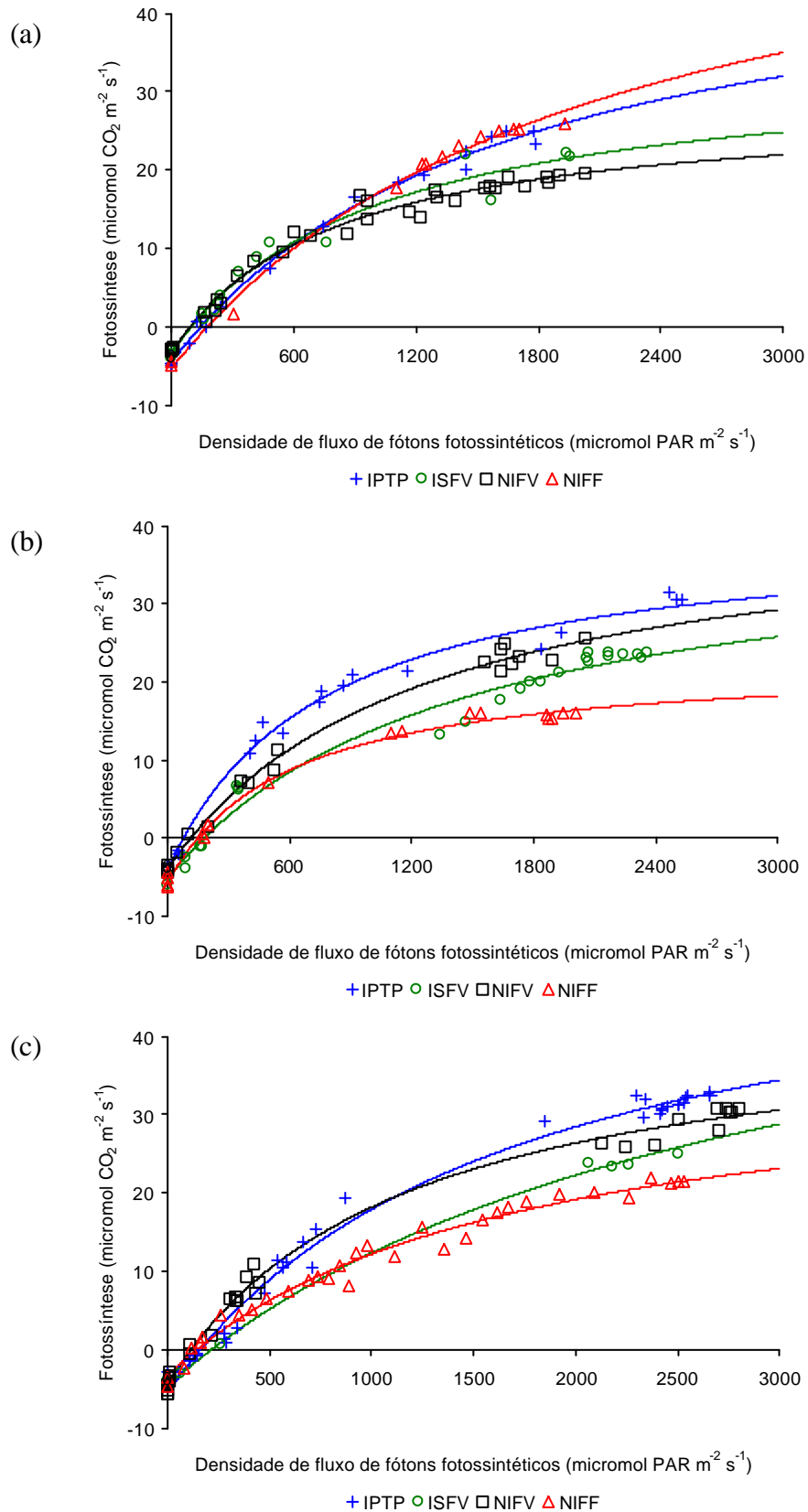


Figura 8.1 – Curvas de resposta da fotossíntese à luz aos 41 DAE na fase vegetativa (a), aos 62 DAE na fase de florescimento (b) e aos 88 DAE na fase de enchimento de grãos (c), em todos os tratamentos, no ensaio realizado em 1998/99 em Viçosa-MG.

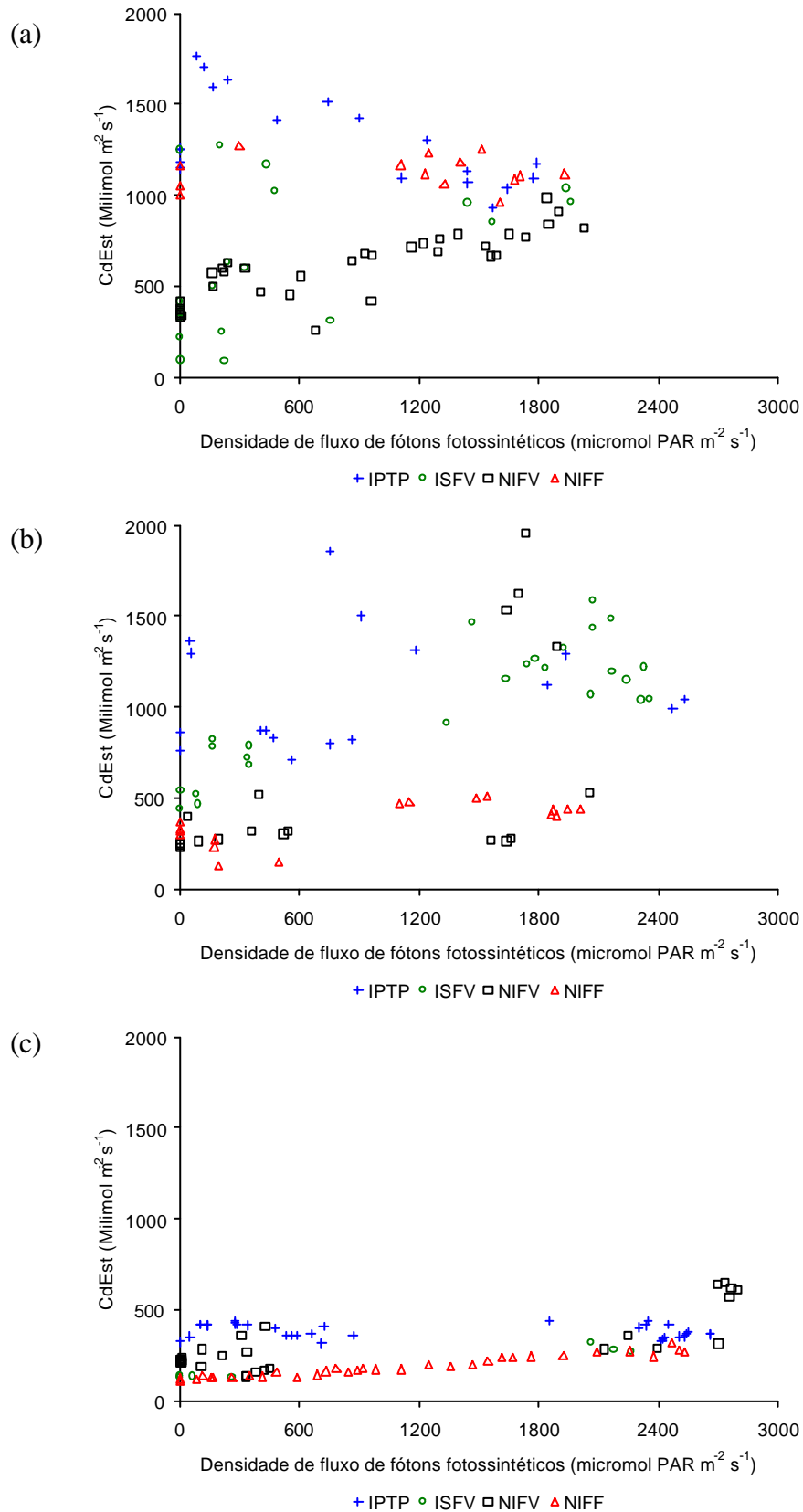


Figura 8.2 – Condutância estomática (CdEst) aos 41 DAE na fase vegetativa (a), aos 62 DAE na fase de florescimento (b) e aos 88 DAE na fase de enchimento de grãos (c), em todos os tratamentos, no ensaio realizado em 1998/99 em Viçosa-MG.

enchimento de grãos, os valores de condutância estomática para NIFF estiveram em torno de 200 milimol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>.

O tratamento ISFV apresentou um valor de CdEst em torno de 1000 milimol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, na fase vegetativa, de 1400 milimol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>, na fase de florescimento, e de 300 milimol m<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> na fase de enchimento de grãos.

O tratamento NIFV apresentou um valor médio em torno de 700 milimol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, na fase vegetativa, um valor em torno de 1100 milimol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>, na fase de florescimento e um valor médio de mais ou menos 500 milimol m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> na fase de enchimento de grãos.

Este comportamento da condutância estomática, totalmente de acordo com o comportamento da fotossíntese, fortalece a hipótese de que na fase de enchimento de grãos, (na data de realização das medições de fotossíntese), as folhas já estavam com sua capacidade fotossintética diminuída, assim como da força do dreno metabólico, que influenciou o desempenho fotossintético das folhas da cultura naquela fase. Os tratamentos IPTP e NIFF atingiram valores de índice de área foliar (IAF) superiores aos do tratamento NIFV, mas, como NIFV apresentou uma carga de grãos maior (Capítulo 4), as plantas, desse tratamento, precisaram realizar uma taxa fotossintética maior para atender à demanda de assimilados.

ISFV apresentou uma taxa fotossintética maior que NIFF, na fase de enchimento de grãos, possivelmente devido à maior força do dreno metabólico que, mesmo assim, devido ao baixo IAF, não conseguiu atender à demanda.

## 8.5 Resumo e conclusões

Neste capítulo, foi analisada a fotossíntese dos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, no ensaio realizado em 1998/99 com a cultura de soja.

A cultura apresentou diminuições da fotossíntese, nos tratamentos estressados por diminuição na radiação incidente sobre a cultura (ISFV) e por falta de água (NIFV), ambos na fase vegetativa. A fotossíntese máxima (P<sub>m</sub>) foi diminuída em 34 e 44% nestes tratamentos, respectivamente. Na fase de florescimento, NIFF mostrou queda de 35% em P<sub>m</sub>. Os valores de P<sub>800</sub> e P<sub>2000</sub> seguiram a mesma tendência de P<sub>m</sub>. A principal causa da diminuição na taxa fotossintética foi a maior resistência estomatal, nos tratamentos estressados por falta de água, e a maior resistência do mesófilo no tratamento estressado por falta de luz.

A inclinação inicial da curva de resposta da fotossíntese à luz ( $\alpha$ ) oscilou pouco entre os tratamentos. Os valores médios de  $\alpha$  nas três fases estudadas, para os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF foram 0,0433, 0,0310, 0,0401 e 0,0353  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , respectivamente.

A taxa de respiração variou pouco entre os tratamentos e entre as fases, apresentando uma média geral de 4,66  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para IPTP, 4,31  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para ISFV, 3,85  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para NIFV e 4,74  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  para NIFF, sendo a maior variação entre as médias de 19%.

Os resultados da condutância estomática confirmaram os resultados da fotossíntese.

## **8.6 Estudos futuros**

Medições de fotossíntese ao longo do ciclo da cultura, tanto foliar quanto da planta toda, e obtenção de todos os parâmetros associados à fotossíntese.

## 9. MODELO EXPOLINEAR

### 9.1 Introdução

O crescimento de um grande número de culturas pode ser dividido em três fases. Uma primeira fase de crescimento exponencial, uma segunda fase de crescimento linear e uma última fase de senescência (GOUDRIAAN & van LAAR, 1994).

Durante a fase de crescimento exponencial, grande parte do espaço entre as plantas ainda não se encontra ocupado. Cada nova folha formada contribui para que mais radiação seja interceptada e, assim, para que o crescimento aumente cada vez mais. Não há sombreamento mútuo e a contribuição das novas folhas é idêntica à daquelas já existentes. A taxa de crescimento relativo é, então, constante.

Posteriormente, as folhas começam, gradualmente, a sobrepor-se umas às outras, sendo que, geralmente, acima de um índice de área foliar (IAF) de  $3 \text{ m}^2 \text{ (folha) m}^{-2}$  (solo), o acréscimo de nova área foliar resulta, fortemente, em um aumento na quantidade de luz interceptada, momento este em que a fase de crescimento exponencial deixa de existir e a cultura encontra-se na fase de crescimento linear.

A cultura acumula matéria seca até um certo ponto, a partir do qual mantém um valor estável que, após algum tempo, com a perda de folhas e pecíolos pelas plantas, declina. A equação expolinear prossegue, indefinidamente, e não representa a deflexão que indica quando cessa o crescimento. Dessa forma, a equação necessita ser estendida. Essa extensão consiste em introduzir um truncamento na equação, na data em que a cultura pára de crescer (Equação 9.2).

O modelo expolinear (Equação 9.1) tem sido sugerido como um novo método para descrever o crescimento de algumas culturas (GOUDRIAAN & MONTEITH, 1990). Este modelo derivou de uma base de relações funcionais entre desenvolvimento de área foliar, interceptação de radiação solar e produção de matéria seca.

$$W(t) = \left(\frac{C_m}{R_m}\right) \cdot \text{Log}_e \{1 + \exp[R_m \cdot (t - t_b)]\} \quad (9.1)$$

$$W(t) = \left(\frac{C_m}{R_m}\right) \cdot \text{Log}_e \{1 + \exp[R_m \cdot (t_r - t_b)]\} \quad (9.2)$$

em que

- W(t) = massa seca total (g m<sup>-2</sup>);
- C<sub>m</sub> = taxa de crescimento máximo da cultura (g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>);
- R<sub>m</sub> = taxa de crescimento relativo máximo (g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>);
- t = tempo em dias após a emergência (DAE);
- t<sub>b</sub> = tempo no qual a cultura passa efetivamente do crescimento exponencial para linear (dias); e
- t<sub>r</sub> = tempo no qual a cultura para de acumular matéria seca (fim da fase linear e início da fase de senescência).

No modelo expolinear supõe-se que o crescimento da cultura pode ser dividido em duas fases. Uma fase exponencial em que a taxa de crescimento aumenta de um valor muito pequeno, no início do ciclo, até um valor máximo (C<sub>m</sub>) atingido após t<sub>b</sub>. Nesta fase, a cobertura do solo é muito pequena. A segunda fase é linear, com esta taxa máxima de crescimento sendo mantida, desde que o ambiente permaneça constante. A transição da fase exponencial para a fase linear ocorre, quando o solo está completamente coberto.

Em termos gráficos, t<sub>b</sub> é o valor da abscissa (eixo dos x), quando o aumento linear de massa seca é extrapolado para interceptar o eixo dos X, sendo X igual a t<sub>b</sub> e W igual a W<sub>0</sub>. Este período foi denominado ‘tempo perdido’ por MONTEITH (1981) e MONTEITH & SCOTT (1982), significando a quantidade de W, em termos de tempo, perdida pela cultura, durante o período em que esta esteve desenvolvendo seu dossel e, portanto, não pode interceptar toda radiação solar incidente.

Neste capítulo, o modelo expolinear foi testado com matéria seca total, matéria seca das raízes, matéria seca do caule e matéria seca das folhas, nos quatro tratamentos, para os dois anos de experimento.

Para ajustar o modelo expolinar, utilizou-se o programa ORIGIN 40, sendo estimados os valores de  $R_m$ ,  $C_m$  e  $t_b$ , juntamente com os erros associados a cada valor. Para verificar os valores de  $r^2$  foi utilizado o programa *Curve Expert* 1.2.

## 9.2 Estimativa de matéria seca

O modelo expolinar ajustou-se muito bem aos dados de matéria seca total, da raiz, do caule e da folha.

No Quadro 9.1 observa-se que os parâmetros  $C_m$ ,  $R_m$  e  $t_b$  variaram, semelhantemente, nos ajustes realizados.

$C_m$  foi, em geral, maior para IPTP, seguido por NIFV, NIFF e ISFV.

$R_m$  foi o que mais variou; entretanto, ISFV apresentou os menores valores. Em geral, IPTP apresentou os maiores valores de  $R_m$ , seguido por NIFF, NIFV e ISFV.

Para tempo perdido, ISFV apresentou os maiores valores, seguido por NIFF, NIFV e IPTP. Dos componentes da planta, o caule foi o que mais influenciou os valores de  $t_b$  no ajuste do modelo à matéria seca total (Quadro 9.1).

### 9.2.1 Estimativa de matéria seca total

O modelo expolinar foi ajustado aos dados de matéria seca total, matéria seca radicular, matéria seca do caule e matéria seca das folhas (Figuras 9.1, 9.2, 9.3 e 9.4). Para proceder ao ajuste, foram utilizados apenas dados de matéria seca com valores crescentes até atingir o máximo. A data de ocorrência do ponto máximo, em alguns casos, variou entre os tratamentos.

O modelo expolinar ajustou-se bem aos dados de matéria seca total, em todos os tratamentos (Figura 9.1). No ensaio de 1997/98, houve um ajuste muito bom com  $r^2$  acima de 99, em todos os tratamentos. No ensaio de 1998/99, o ajuste foi pior, em relação ao ensaio do ano anterior, devido, principalmente, ao maior número de amostragens e, conseqüentemente maior variabilidade. No ensaio de 1998/99,  $r^2$  variou de 94 em ISFV a 99 em IPTP e NIFF. NIFV apresentou um  $r^2$  igual a 98 (Quadro 9.1).

Nos dois ensaios, tanto em 1997/98 quanto em 1998/99, a taxa de crescimento máximo da cultura ( $C_m$ ) foi menor em ISFV. No ensaio de 1998/99, os tratamentos estressados na fase vegetativa apresentaram o menor valor de  $C_m$ , para o ajuste à matéria seca total, seguidos pelo NIFF que apresentou um valor 20% menor que IPTP. Como esperado, houve um aumento de  $C_m$  com a qualidade do ambiente.

Quadro 9.1 – Parâmetros do modelo expolinear taxa de crescimento máxima da cultura,  $C_m$  ( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da cultura,  $R_m$  ( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ ) e tempo pedido,  $t_b$  (dia), obtidos do ajuste do modelo aos dados de matéria seca total (MST), matéria seca da raiz (MSR), matéria seca do caule (MSC) e matéria seca da folha (MSF), nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	Componente	$C_m$	$R_m$	$t_b$	r	
			( $\text{g m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ )	( $\text{g g}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ )	(dia)		
1997/98	IPTP	MST	21,980 ± 0,272	0,117 ± 0,005	37,325 ± 0,531	0,998	
			ISFV	14,966 ± 0,763	0,083 ± 0,006	47,415 ± 2,125	0,999
			NIFV	25,569 ± 1,026	0,093 ± 0,005	46,248 ± 1,355	0,999
			NIFF	21,406 ± 2,706	0,091 ± 0,016	41,085 ± 4,617	0,993
1998/99	IPTP	MST	33,172 ± 2,917	0,108 ± 0,022	44,674 ± 3,336	0,994	
			ISFV	9,559 ± 1,290	0,172 ± 0,126	33,420 ± 5,475	0,968
			NIFV	17,377 ± 1,598	0,131 ± 0,042	36,322 ± 3,743	0,989
			NIFF	26,579 ± 1,224	0,095 ± 0,006	48,371 ± 1,542	0,999
1997/98	IPTP	MSR	1,133 ± 0,065	0,198 ± 0,076	18,824 ± 2,177	0,992	
			ISFV	0,810 ± 0,079	0,082 ± 0,012	33,266 ± 4,062	0,995
			NIFV	1,124 ± 0,048	0,135 ± 0,020	24,754 ± 1,666	0,997
			NIFF	0,948 ± 0,063	0,185 ± 0,079	17,108 ± 2,572	0,990
1998/99	IPTP	MSR	2,713 ± 0,280	0,090 ± 0,011	40,606 ± 3,608	0,996	
			ISFV	1,585 ± 0,237	0,111 ± 0,029	38,160 ± 5,037	0,986
			NIFV	1,359 ± 0,087	0,203 ± 0,085	25,015 ± 2,274	0,991
			NIFF	0,999 ± 0,102	0,180 ± 0,148	22,266 ± 4,580	0,970
1997/98	IPTP	MSC	8,749 ± 0,288	0,172 ± 0,025	32,451 ± 1,120	0,998	
			ISFV	5,217 ± 0,159	0,116 ± 0,008	38,503 ± 1,068	0,999
			NIFV	8,557 ± 0,243	0,140 ± 0,012	36,816 ± 0,964	0,999
			NIFF	7,521 ± 0,310	0,169 ± 0,030	30,686 ± 1,433	0,997
1998/99	IPTP	MSC	16,647 ± 2,217	0,125 ± 0,030	43,742 ± 3,921	0,990	
			ISFV	7,543 ± 0,501	0,152 ± 0,025	42,034 ± 1,869	0,996
			NIFV	8,851 ± 0,852	0,132 ± 0,028	38,491 ± 3,053	0,993
			NIFF	15,962 ± 1,478	0,103 ± 0,010	50,364 ± 2,614	0,997
1997/98	IPTP	MSF	4,496 ± 0,204	0,207 ± 0,059	23,484 ± 1,641	0,996	
			ISFV	2,349 ± 0,105	0,159 ± 0,031	23,674 ± 1,705	0,996
			NIFV	4,197 ± 0,248	0,165 ± 0,042	26,199 ± 2,164	0,994
			NIFF	3,295 ± 0,157	0,285 ± 0,155	18,647 ± 1,699	0,993
1998/99	IPTP	MSF	7,581 ± 0,467	0,111 ± 0,013	36,103 ± 2,083	0,997	
			ISFV	3,353 ± 0,799	0,102 ± 0,039	37,432 ± 8,333	0,970
			NIFV	4,037 ± 0,331	0,157 ± 0,053	27,425 ± 2,971	0,990
			NIFF	3,769 ± 0,179	0,152 ± 0,030	28,218 ± 1,803	0,996

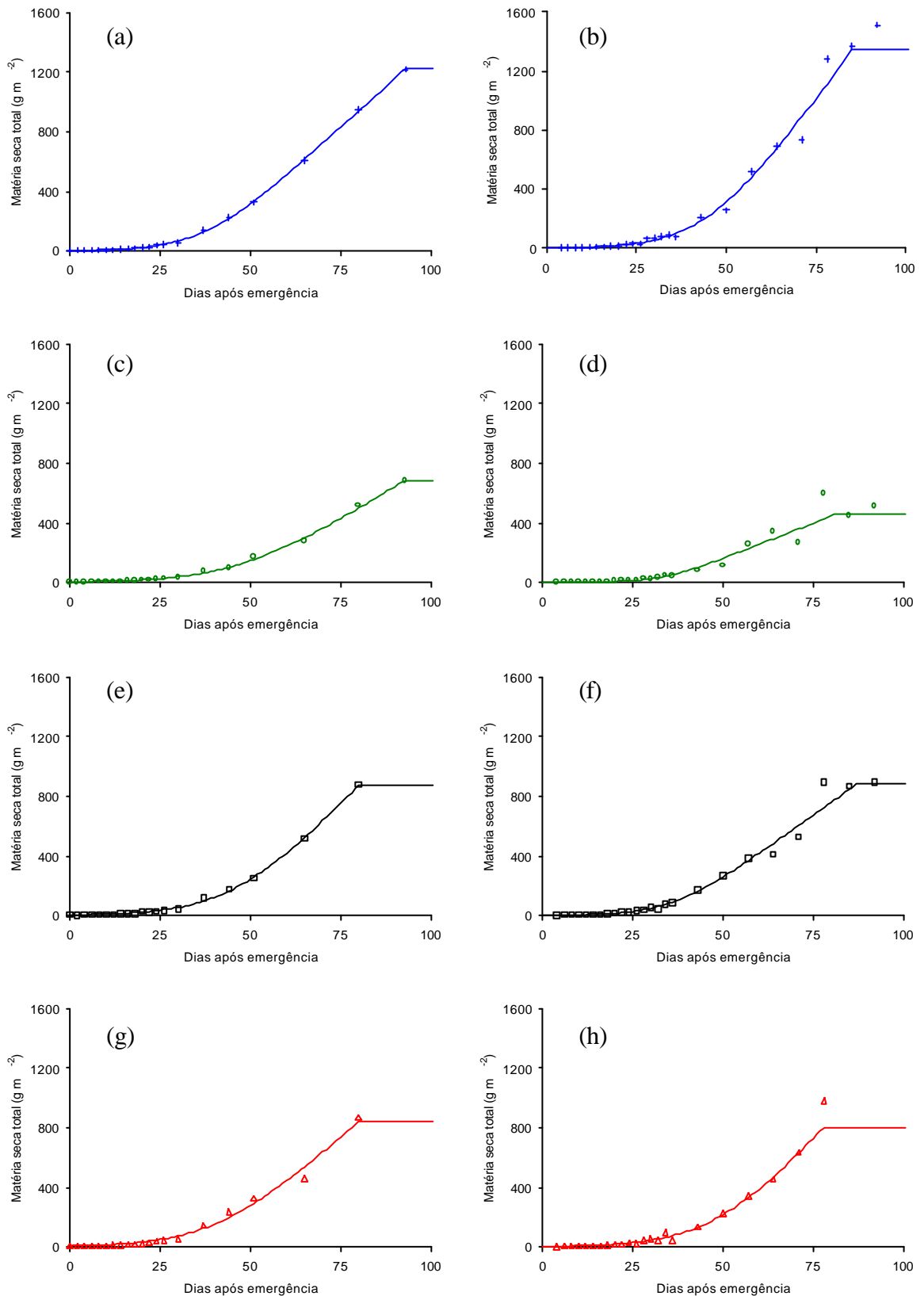


Figura 9.1 – Ajuste do modelo expolinear à matéria seca total da cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

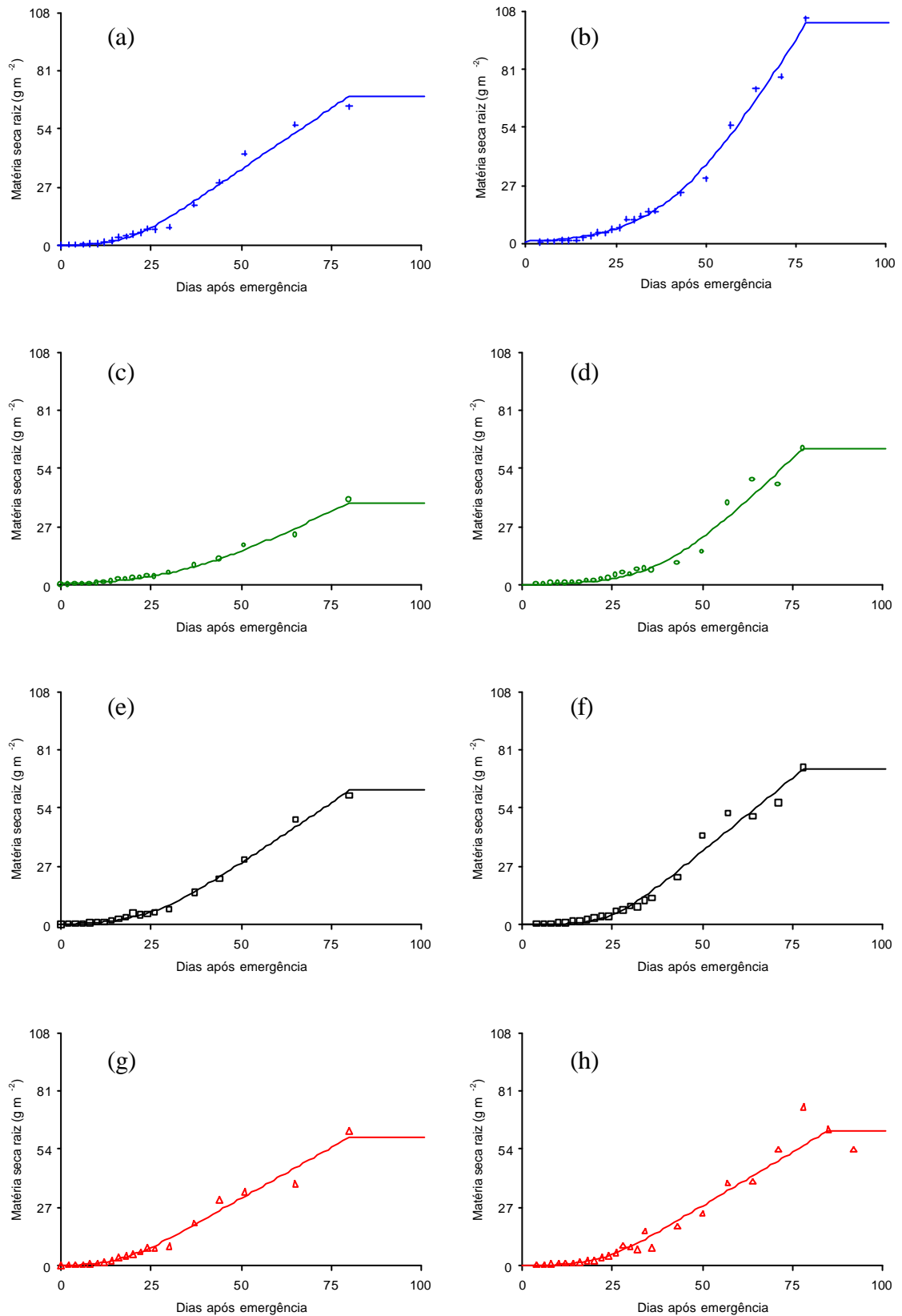


Figura 9.2 – Ajuste do modelo expolinear à matéria seca da parte radicular da cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

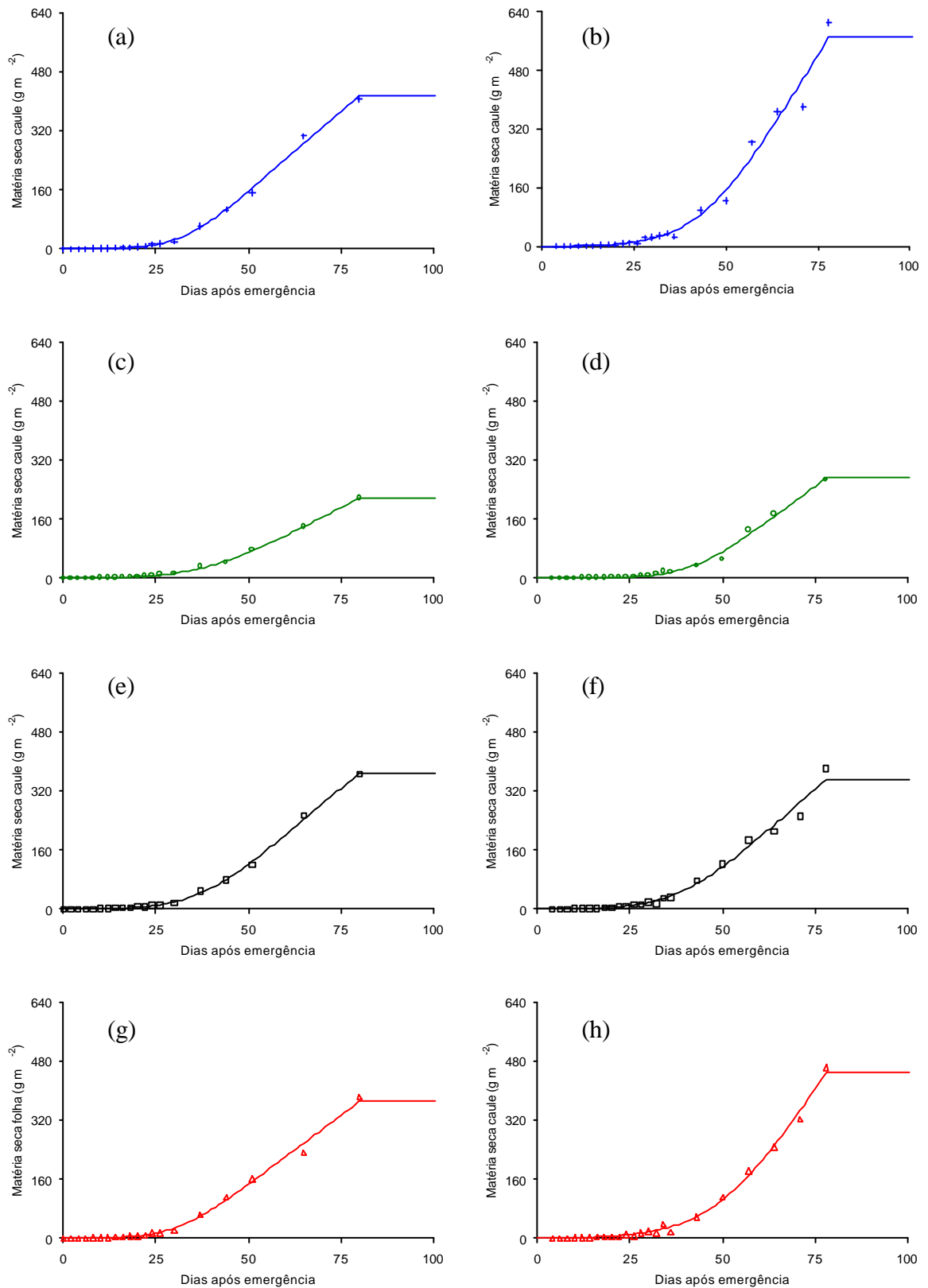


Figura 9.3 – Ajuste do modelo expolinear à matéria seca do caule da cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

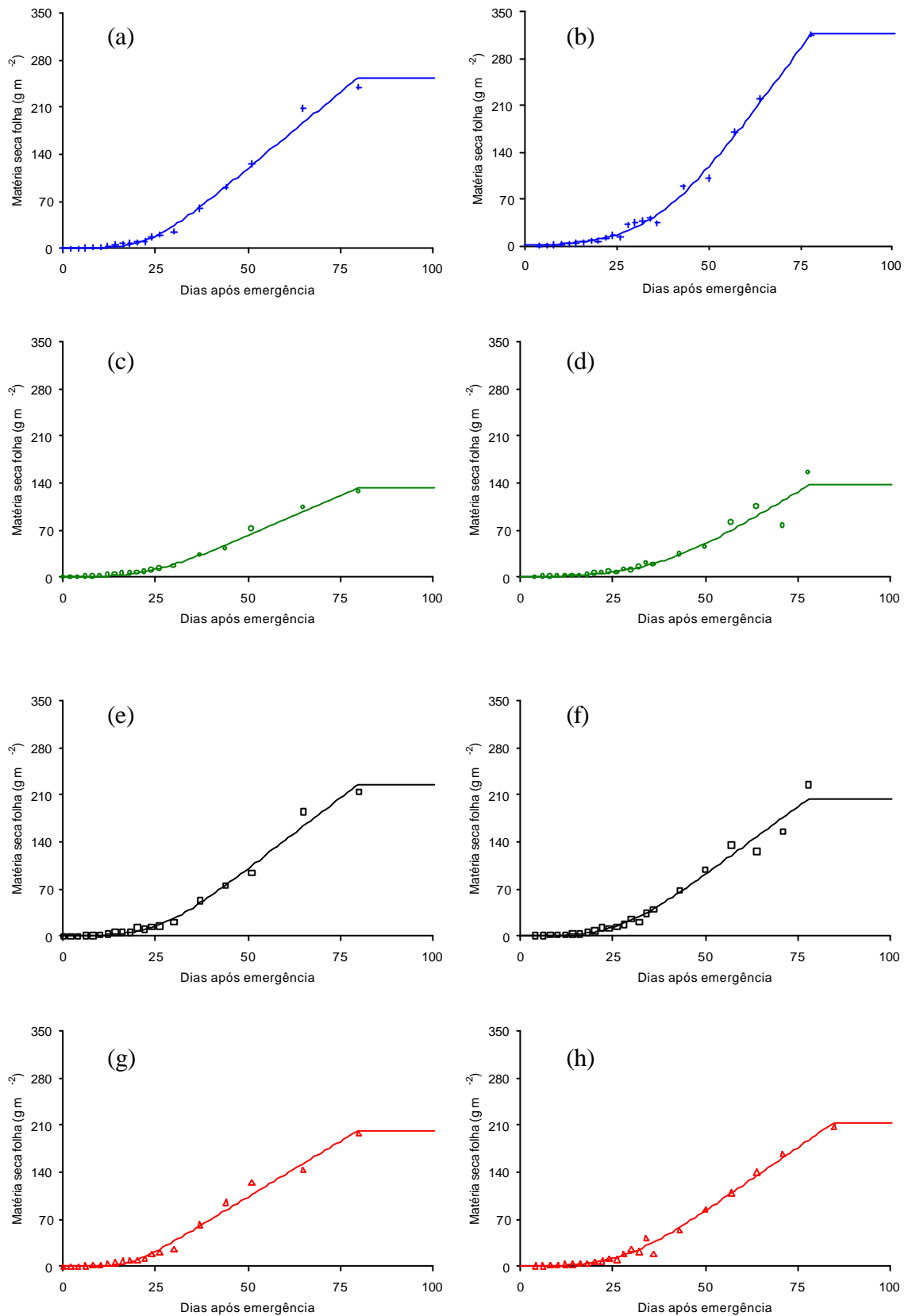


Figura 9.4 – Ajuste do modelo expolinear à matéria seca das folhas da cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

A taxa de crescimento relativo máximo da cultura ( $R_m$ ), em 1997/98, foi menor em ISFV e maior em IPTP. Em 1998/99, ISFV apresentou o maior valor de  $R_m$ , sendo o menor valor apresentado por NIFF. Em geral, os valores de  $R_m$  foram maiores, em 1998/99, com exceção de IPTP.

O tempo perdido ( $t_b$ ), em 1997/98, foi menor no IPTP e maior em ISFV. NIFV praticamente apresentou o mesmo valor de  $t_b$  apresentado por ISFV. No ensaio de 1998/99, NIFF apresentou o maior valor de  $t_b$ , seguido por IPTP, NIFV e ISFV. O ajuste aos dados de matéria seca total do tratamento ISFV gerou valores altos de  $R_m$  e valores baixos de  $t_b$  e  $C_m$ . Dessa forma, conclui-se que os parâmetros do modelo devem ser analisados em conjunto, uma vez que, dependendo do comportamento dos dados, o tempo perdido pode variar de forma inesperada. Em geral, os valores de  $t_b$ , para os tratamentos sob condições ótimas na fase vegetativa, foram menores em 1997/98, ano de ocorrência de “el niño”, possivelmente porque o crescimento foi acelerado pela alta temperatura desse ano, implicando em menor valor de  $t_b$ .

### 9.2.2 Estimativa de matéria seca da raiz

O modelo expolinear ajustou-se bem aos dados de matéria seca da raiz, nos dois experimentos (Figura 9.2).

No experimento de 1997/98, os valores de taxa de crescimento máximo da parte radicular ( $C_{mr}$ ) variaram entre 0,948 a 1,133 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>. Os valores foram menores nos tratamentos ISFV e NIFF. NIFV apresentou, praticamente, o mesmo valor de  $C_{mr}$  apresentado por IPTP. No experimento de 1998/99, os valores de  $C_{mr}$  variaram de 0,999 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup>, em NIFF, a 2,713 g m<sup>-2</sup> dia<sup>-1</sup> em IPTP, enquanto o segundo maior valor de  $C_{mr}$  foi apresentado por ISFV (Quadro 9.1).

No ensaio de 1997/98, os valores da taxa de crescimento relativo máximo da raiz ( $R_{mr}$ ) variaram de 0,082 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, em ISFV, a 0,198 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em IPTP. Em 1998/99,  $R_{mr}$  variou de 0,090 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup>, em IPTP, a 0,180 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> em NIFF. ISFV apresentou o valor de 0,111 g g<sup>-1</sup> dia<sup>-1</sup> (Quadro 9.1).

Em 1997/98, o tempo perdido no acúmulo de matéria seca na raiz ( $t_{br}$ ), variou de 17,108 dias, em NIFF, a 33,266 em ISFV. Em 1998/99, o maior  $t_{br}$  foi apresentado por IPTP, ou seja, 41 dias, seguido por ISFV com 38 dias. O menor  $t_{br}$  foi verificado em NIFF, ou seja, 22 dias (Quadro 9.1).

### 9.2.3 Estimativa de matéria seca do caule

O modelo expolinear ajustou-se bem aos dados de matéria seca do caule, nos dois ensaios (Figura 9.3).

O tratamento ISFV apresentou o menor valor de taxa de crescimento máximo do caule ( $C_{mc}$ ), nos ensaios de 1997/98 e 1998/99. Em 1997/98, NIFV apresentou valor semelhante a IPTP, enquanto em 1998/99, NIFF apresentou valor de  $C_{mc}$  semelhante a IPTP. Em 1998/99, NIFV apresentou valor bem baixo de  $C_{mc}$ , sendo este apenas 17% maior do que aquele apresentado por ISFV.

Com relação à taxa de crescimento relativo máximo do caule ( $R_{mc}$ ), em 1997/98, ISFV apresentou o menor valor e IPTP apresentou o maior. Em 1998/99, NIFF apresentou o menor valor de  $R_{mc}$  e ISFV o maior (Quadro 9.1).

O tempo perdido no acúmulo de matéria seca do caule ( $t_{bc}$ ), em 1997/98, foi maior em ISFV e menor em NIFF. No ensaio de 1998/99,  $t_{bc}$  foi maior em NIFF e menor em NIFV (Quadro 9.1).

### 9.2.4 Estimativa de matéria seca da folha

O modelo ajustou-se muito bem aos dados de matéria seca das folhas (Figura 9.4).

O parâmetro taxa de crescimento máximo da matéria seca foliar ( $C_{mf}$ ), em 1997/98, seguiu o ocorrido nos componentes analisados anteriormente, ou seja, foi menor em ISFV e maior em IPTP. Em 1998/99, ISFV também apresentou o menor valor, enquanto IPTP, novamente, apresentou o maior valor de  $C_{mf}$  (Quadro 9.1).

A taxa de crescimento relativo máximo da matéria seca das folhas ( $R_{mf}$ ), foi menor em ISFV, nos dois ensaios. No ensaio de 1997/98, o que mais se aproximou de ISFV foi NIFV e no ensaio de 1998/99 foi o tratamento IPTP (Quadro 9.1).

Em relação ao tempo perdido em 1997/98,  $t_f$  foi praticamente o mesmo, em IPTP e ISFV. NIFV apresentou o maior  $t_f$  e NIFF apresentou o menor. Em 1998/99, ISFV apresentou o maior valor de  $t_f$ , o qual foi praticamente igual ao de IPTP, enquanto NIFV apresentou o menor valor (Quadro 9.1).

## 9.3 Parâmetros estimados pela expolinear e pela análise de crescimento clássica

Os parâmetros  $C_m$  e  $R_m$ , estimados nos ajustes aos dados de matéria seca total da raiz, do caule e da folha foram comparados às taxas máximas de acúmulo de matéria seca total da raiz, do caule e da folha, obtidas por meio da análise de crescimento clássica.

Na análise de crescimento clássica, a função racional foi ajustada aos dados de matéria seca da raiz, do caule e da folha logaritimizadas, para obtenção da taxa de crescimento relativo, conforme explicado no Capítulo 2 (em 2.5.9.2).

Para os parâmetros relacionados à matéria seca total (Quadro 9.2), a taxa de crescimento máxima da cultura apresentou diferenças, variando entre menos de 1% em ISFV, no ensaio de 1997/98, a 30% também em ISFV no ano de 1998/99. A taxa de crescimento relativo máxima variou entre menos de 1%, em IPTP, a 41% em ISFV.

Quadro 9.2 – Parâmetros do modelo expolinear taxa de crescimento máxima da cultura,  $C_m$  ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da cultura,  $R_m$  ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), obtidos do ajuste do modelo aos dados de matéria seca total, e taxa de crescimento máxima da cultura,  $C$  ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da cultura,  $R$  ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), obtidos da análise de crescimento clássica, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	$C$ ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ )	$C_m$ ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ )	Dif. (%)	$R$ ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ )	$R_m$ ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ )	Dif. (%)
1997/98	IPTP	25,808	21,980 ± 0,272	14,833	0,118	0,117 ± 0,005	0,847
	ISFV	14,988	14,966 ± 0,763	0,147	0,102	0,083 ± 0,006	18,627
	NIFV	22,069	25,569 ± 1,026	13,688	0,113	0,093 ± 0,005	17,699
	NIFF	20,590	21,406 ± 2,706	3,812	0,118	0,091 ± 0,016	22,881
1998/99	IPTP	34,724	33,172 ± 2,917	4,470	0,120	0,108 ± 0,022	10,000
	ISFV	13,707	9,559 ± 1,290	30,262	0,101	0,172 ± 0,126	41,279
	NIFV	21,095	17,377 ± 1,598	17,625	0,120	0,131 ± 0,042	8,397
	NIFF	28,234	26,579 ± 1,224	5,862	0,112	0,095 ± 0,006	15,179

Quanto aos parâmetros relacionados à matéria seca da raiz (Quadro 9.3), a taxa de crescimento máxima de matéria seca da raiz apresentou diferenças entre 9 a 32%, entre os métodos. A taxa de crescimento relativo máximo da raiz variou entre 15 e 69%.

A taxa máxima de produção de matéria seca do caule variou entre 2 e 22%, enquanto a taxa de crescimento relativo máxima do caule variou entre 3 e 24% (Quadro 9.4).

A taxa máxima de produção de matéria seca das folhas variou entre 5 e 25%, enquanto a taxa de crescimento relativo máxima da matéria seca das folhas apresentou diferenças entre os dois métodos de 3 a 77%. Atenção deve ser dada aos dados de taxa de crescimento relativo máxima, obtidos por meio da análise clássica, ensaio 1997/98

(Quadro 9.5). As taxas máximas para folha ocorreram no início do ciclo, devido ao ajuste da equação aos dados reais, em que possivelmente, houve uma superestimação

Quadro 9.3 – Parâmetros do modelo expolinear taxa de crescimento máxima da raiz,  $C_{mr}$  ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da raiz,  $R_{mr}$  ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ), obtidos do ajuste do modelo aos dados de matéria seca da raiz, e taxa de crescimento máxima da raiz,  $C_r$  ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da raiz,  $R_r$  ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ), obtidos da análise de crescimento clássica, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	$C_r$ ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ )	$C_{mr}$ ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ )	Dif (%)	$R_r$ ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ )	$R_{mr}$ ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ )	Dif (%)
1997/98	IPTP	1,678	1,133 ± 0,065	32,479	0,234	0,198 ± 0,076	15,385
	ISFV	0,739	0,810 ± 0,079	8,765	0,268	0,082 ± 0,012	69,403
	NIFV	1,383	1,124 ± 0,048	18,727	0,217	0,135 ± 0,020	37,788
	NIFF	1,231	0,948 ± 0,063	22,989	0,245	0,185 ± 0,079	24,490
1998/99	IPTP	2,379	2,713 ± 0,280	12,311	0,135	0,090 ± 0,011	33,333
	ISFV	1,752	1,585 ± 0,237	9,532	0,094	0,111 ± 0,029	15,315
	NIFV	1,950	1,359 ± 0,087	30,308	0,116	0,203 ± 0,085	42,857
	NIFF	1,433	0,999 ± 0,102	30,286	0,127	0,180 ± 0,148	29,444

Quadro 9.4 – Parâmetros do modelo expolinear taxa de crescimento máxima do caule,  $C_{mc}$  ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima do caule,  $R_{mc}$  ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ), obtidos do ajuste do modelo aos dados de matéria seca da raiz, e taxa de crescimento máxima do caule,  $C_c$  ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima do caule,  $R_c$  ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ ), obtidos da análise de crescimento clássica, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	$C_c$ ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ )	$C_{mc}$ ( $g\ m^{-2}\ dia^{-1}$ )	Dif (%)	$R_c$ ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ )	$R_{mc}$ ( $g\ g^{-1}\ dia^{-1}$ )	Dif (%)
1997/98	IPTP	11,204	8,749 ± 0,288	21,912	0,154	0,172 ± 0,025	10,465
	ISFV	5,524	5,217 ± 0,159	5,558	0,149	0,116 ± 0,008	22,148
	NIFV	10,009	8,557 ± 0,243	14,507	0,148	0,140 ± 0,012	5,405
	NIFF	8,912	7,521 ± 0,310	15,608	0,154	0,169 ± 0,030	8,876
1998/99	IPTP	17,081	16,647 ± 2,217	2,541	0,142	0,125 ± 0,030	11,972
	ISFV	7,705	7,543 ± 0,501	2,103	0,115	0,152 ± 0,025	24,342
	NIFV	9,426	8,851 ± 0,852	6,100	0,136	0,132 ± 0,028	2,941
	NIFF	13,124	15,962 ± 1,478	17,780	0,125	0,103 ± 0,010	17,600

Quadro 9.5 – Parâmetros do modelo expolinear taxa de crescimento máxima da folha,  $C_{mf}$  ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da folha,  $R_{mf}$  ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), obtidos do ajuste do modelo aos dados de matéria seca da raiz, e taxa de crescimento máxima da folha,  $C_f$  ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ ), taxa de crescimento relativo máxima da folha,  $R_f$  ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ ), obtidos da análise de crescimento clássica, nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	$C_f$ ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ )	$C_{mf}$ ( $\text{g m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ )	Dif (%)	$R_f$ ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ )	$R_{mf}$ ( $\text{g g}^{-1} \text{dia}^{-1}$ )	Dif (%)
1997/98	IPTP	6,423	4,496 ± 0,204	30,002	0,651	0,207 ± 0,059	68,203
	ISFV	3,123	2,349 ± 0,105	24,784	0,700	0,159 ± 0,031	77,286
	NIFV	5,476	4,197 ± 0,248	23,356	0,634	0,165 ± 0,042	73,975
	NIFF	4,951	3,295 ± 0,157	33,448	0,671	0,285 ± 0,155	57,526
1998/99	IPTP	7,230	7,581 ± 0,467	4,630	0,166	0,111 ± 0,013	33,133
	ISFV	3,071	3,353 ± 0,799	8,410	0,105	0,102 ± 0,039	2,857
	NIFV	5,072	4,037 ± 0,331	20,406	0,134	0,157 ± 0,053	14,650
	NIFF	5,020	3,769 ± 0,179	24,920	0,114	0,152 ± 0,030	25,000

dos valores máximos, levando a grandes diferenças entre  $R$  e  $R_m$ , para matéria seca de folha, no ensaio de 1997/98.

Em geral, o modelo expolinear estimou melhor os parâmetros, quando ajustado aos dados de matéria seca do caule seguido de matéria seca total, raiz e folha. Os erros foram menores para o ensaio de 1998/99, exceto para matéria seca total, em que os erros foram menores em 1997/98. Pode-se concluir que o modelo expolinear estima, com menor erro, o parâmetro taxa de crescimento da cultura ( $C_m$ ).

#### 9.4 Suposições do modelo expolinear

Na derivação teórica do modelo, GOUDRIAAN & MONTEITH (1990) fizeram várias suposições, as quais foram examinadas à luz dos dados experimentais obtidos neste trabalho. Uma suposição básica é que o coeficiente de extinção da radiação ( $k$ ) é constante, durante a estação de crescimento. Entretanto, observou-se que  $k$  diminui com o aumento do IAF.

Outra suposição feita por esses autores é que o produto  $p_l s$  permanece constante, durante o crescimento da cultura, sendo  $p_l$  a fração de nova matéria seca alocada para as novas folhas (razão de massa foliar dinâmica) e  $s$  a área foliar específica dessas folhas ( $\text{m}^2 \text{g folha}^{-1}$ ). Esta suposição implica que a razão de área foliar (LAR) da cultura

permanece constante. LAR pode ser considerada como o produto da razão de massa foliar (LWR ou  $p_l$ ) e área foliar específica ( $s$ ). Entretanto, a análise dos dados (Capítulo 4) mostrou que, a partir de um certo período (20 dias após emergência), LAR declinou com o tempo, em todos os tratamentos. Em geral, o comportamento de LWR foi semelhante ao de LAR (Capítulo 4). GOUDRIAAN (1994) modificou o modelo expolinear, impondo um limite superior sobre a área foliar, a qual implica que LAR varia com o tempo.

Na derivação do modelo, resulta-se que, durante o início do crescimento, quando há uma pequena cobertura do solo (quando  $kL$  é muito pequeno),  $R_m$  pode ser obtido da seguinte expressão:

$$R_m = k p_l s C_m \quad (9.3)$$

em que

- $R_m$  = taxa de crescimento relativo máxima;
- $k$  = coeficiente de extinção da radiação solar;
- $p_l$  = razão de massa foliar dinâmica, igual a razão de massa foliar (LWR);
- $s$  = área foliar específica (SLA); e
- $C_m$  = taxa de crescimento máximo da cultura.

Neste estudo,  $R_m$  e  $C_m$  foram estimados do ajuste da equação expolinear. Foram feitas medições de  $k$ ,  $p_l$  e  $s$ . A validade da derivação acima pode ser verificada, ou seja,

$$R_{m\text{calc.}} = k p_l s C_m \quad (9.4)$$

e comparada com  $R_m$ .

em que  $R_{m\text{Calc}}$  é a taxa de crescimento relativo máxima calculada (Quadro 9.6).

Uma vez que  $k$  varia com o aumento do IAF, mas a suposição é que  $k$  permanece constante, foi utilizado um valor médio entre 20 e 70 DAE. Os valores de LWR e SLA utilizados foram uma média entre início do ciclo e final da fase exponencial ( $t_b$ ).  $C_m$  foi obtido da Expolinear ajustada aos dados de MS total.

Os valores de  $R_{m\text{Calc}}$  foram maiores, em todos os tratamentos, sendo que a diferença variou de 20 a 74% de aumento, exceto ISFV que, em 1998/99, apresentou um valor de  $R_{m\text{Calc}}$  16% menor. Isto foi devido ao baixo valor de  $C_m$ , apresentado por ISFV nesse ano. No ano de 1998/99, NIFV também apresentou um valor de  $R_{m\text{Calc}}$  mais

Quadro 9.6 – Valores da taxa de crescimento relativo máxima calculada ( $R_{mCalc}$ ) nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	k	LWR ( $p_1$ )	SLA (s) ( $m^2 g^{-1}$ )	$C_m$ ( $g m^{-2} dia^{-1}$ )	$R_{mCalc}$ . ( $g g^{-1} dia^{-1}$ )	$R_m$ ( $g g^{-1} dia^{-1}$ )	Dif (%)
1997/98	IPTP	0,536	0,396	0,041	21,980	0,189	0,117	38,095
	ISFV	0,906	0,396	0,048	14,966	0,257	0,083	67,704
	NIFV	0,543	0,391	0,042	25,569	0,226	0,093	58,850
	NIFF	0,690	0,389	0,040	21,406	0,231	0,091	60,606
1998/99	IPTP	0,465	0,442	0,037	33,172	0,250	0,108	56,800
	ISFV	0,734	0,413	0,050	9,559	0,144	0,172	16,279
	NIFV	0,531	0,448	0,040	17,377	0,166	0,131	21,084
	NIFF	0,776	0,438	0,040	26,579	0,365	0,095	73,973

próximo de  $R_m$ . Observa-se que  $R_{mCalc}$  tende a ser mais próximo de  $R_m$ , em situações de microclima desfavorável e, quando a cultura encontra-se em condições ótimas,  $C_m$  tende a se elevar e, portanto,  $R_{mCalc}$  tende a aumentar. Os valores calculados de  $R_{mCalc}$  estão mais de acordo com os valores ajustados de  $R_m$ , nas condições às quais a cultura encontra-se em estresse na fase vegetativa. Assim, as suposições assumidas não funcionaram bem em condições ótimas de ambiente, na fase vegetativa, uma vez que LWR, k e SLA variaram ao longo do ciclo, embora nas condições às quais a cultura passou por estresse na fase vegetativa, no segundo experimento, as suposições tenham sido válidas.

### 9.5 Extensão do modelo expolinear

Na derivação do modelo expolinear,  $C_m$  é a taxa de crescimento máxima, supondo-se que toda luz é interceptada. No experimento,  $C_m$  apresentou tendência a diminuir com o aumento do estresse na fase vegetativa, ou com algum estresse ao longo do ciclo, em relação a IPTP.  $C_m$  é estimado como sendo a taxa de crescimento, que ocorre na fase linear. Assim, o valor ajustado pode subestimar a taxa potencial máxima usada na derivação do modelo, se toda luz não for interceptada.

GOUDRIAAN (1994) sugeriu que tal fato poderia ser verificado, escrevendo-se a taxa de crescimento da fase linear como,

$$C_{m, \text{apar.}} = f_m C_m \quad (9.5)$$

em que

$C_{m, \text{apar.}}$  = taxa de crescimento aparente;

$C_m$  = taxa de crescimento potencial (valor máximo de  $C$  que seria encontrado se toda luz incidente fosse interceptada); e

$f_m$  = fração máxima de radiação interceptada.

Aqui,  $C_{m, \text{apar}}$  é escrito como  $C_m$  e a taxa de crescimento potencial como  $C_m^*$ .

Assim, a taxa de crescimento potencial pode ser escrita como

$$C_m^* = \frac{C_m}{f_m} \quad (9.6)$$

Nos cálculos de  $f_m$ , utilizou-se o valor de  $k$  médio entre 20 e 70 DAE. Os valores de  $f_m$  foram obtidos das medidas de interceptação da radiação (Capítulo 6), em que  $f_m$  é a média da interceptação medida entre 64 e 78 DAE, período este em que ocorreram os valores de máximo IAF. Valores de  $C_m$  foram obtidos do ajuste do modelo expolinear aos dados de matéria seca total.

Os resultados de  $C_m^*$  estão no Quadro 9.7.  $C_m^*$  variou mais em relação a  $C_m$ , nos tratamentos estressados, sendo a variação maior no tratamento ISFV devido ao baixo  $L_m$ . No ensaio de 1997/98, ISFV apresentou diferença menor que NIFV, devido ao maior valor de  $k$  apresentado pelo tratamento sombreado.

Em geral, os valores de  $C_m^*$  estiveram muito próximos daqueles de  $C_m$ , representando a capacidade que a cultura de soja tem de aumentar a interceptação de luz em condições de baixo  $L_m$ .

## 9.6 Simulação do índice de área foliar

No modelo expolinear original, GOUDRIAAN & MONTEITH (1990) assumiram que o crescimento continua, indefinidamente, a uma taxa  $C_m$ . Uma vez que LAR é constante, isto implica que o índice de área foliar (IAF) também aumenta indefinidamente.

A modificação imposta por GOUDRIAAN (1994) é que

$$C_m = f_m C_m^* \quad (9.7)$$

Quadro 9.7 – Taxa de crescimento máxima ( $C_m^*$ ), quando toda a radiação é interceptada, para os tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	k	Lm ( $m^2 m^{-2}$ )	$f_m$	$C_m$ ( $g m^{-2} dia^{-1}$ )	$C_m^*$ ( $g m^{-2} dia^{-1}$ )	Dif (%)
1997/98	IPTP	0,536	7,905	0,977	21,980	22,497	2,300
	ISFV	0,906	4,501	0,976	14,966	15,334	2,400
	NIFV	0,543	7,236	0,973	25,569	26,279	2,700
	NIFF	0,690	5,996	0,966	21,406	22,159	3,400
1998/99	IPTP	0,465	8,662	0,972	33,172	34,128	2,800
	ISFV	0,734	3,587	0,953	9,559	10,030	4,700
	NIFV	0,531	6,509	0,976	17,377	17,804	2,400
	NIFF	0,776	6,594	0,983	26,579	27,039	1,700

em que  $f_m$  é a fração máxima de radiação interceptada. Supondo que k permanece constante, um valor máximo de  $f_m$  implica um valor máximo de IAF ( $L_m$ ), dado por

$$f_m = 1 - e^{-k L_m} \quad (9.8)$$

GOUDRIAAN (1994) impôs a modificação a fim de possibilitar a aplicação do modelo em condições de restrição de nitrogênio, ou mesmo de água. Assim, um modelo de crescimento mais preciso deve permitir uma redução gradual na taxa de formação da área foliar, enquanto aproxima-se de uma área foliar máxima possível. A curva de crescimento pode ser obtida, por uma modificação na equação de crescimento expolinear. A taxa de crescimento máxima ( $C_m$ ) agora é restrita por um fator adicional  $f_m$  entre 0 e 1, o qual é independente de t ou W, ou

$$W = \left( \frac{C_m f_m}{R_m} \right) \cdot \text{Log}_e \{ 1 + \exp[ R_m \cdot (t - t_b) ] \} \quad (\text{A expolinear modificada}) \quad (9.9)$$

Este fator  $f_m$  permite ao modelo supor que a interceptação de luz não excede ao valor de  $1 - \exp(-k L_m)$ . A diferença entre esta equação (Equação 9.9) e a original é que a fase de crescimento linear ocorre com uma taxa de crescimento linear “aparente”, mais reduzida, ( $C_{m, \text{apar}}$ ), a qual é dada pelo produto da taxa de crescimento potencial ( $C_m$ ) e pela fração máxima de interceptação de radiação  $f_m$ . Esta modificação não tem efeito sobre a fase de crescimento exponencial, uma vez que a taxa de crescimento relativa máxima ( $R_m$ ) é a mesma (GOUDRIAAN, 1994).

Igualando a expressão de taxa de crescimento de matéria seca à primeira derivação da equação expolinear modificada, GOUDRIAAN (1994) derivou a seguinte expressão para L (índice de área foliar):

$$L = \frac{1}{k} \text{Log}_e \left[ \frac{1 + \exp\{R_m (t - t_b)\}}{1 + \exp\{R_m (t - t_b) - k L_m\}} \right] \text{ (m}^2 \text{ m}^{-2}\text{)} \quad (9.10)$$

Assim, é possível derivar, numericamente, a evolução de LAR, dividindo L por W. Portanto, para usar este modelo modificado na estimativa de L e LAR, são requeridos cinco parâmetros, isto é, k,  $C_m^*$ ,  $f_m$ ,  $R_m$  e  $t_b$ .

Foram feitos cálculos para cada tratamento, nos dois anos de ensaio, a fim de verificar a evolução de W, L e L/W. Os valores dos parâmetros usados são apresentados no Quadro 9.8 e foram originados como descritos a seguir:

- $R_m, t_b$  = foram obtidos do modelo expolinear original;
- $f_m$  = estimado das medidas de interceptação de radiação, sendo a média entre 64 e 78 DAE;
- $C_m^*$  = foi obtido da relação  $C_m/f_m$ , onde  $C_m$  foi o valor ajustado do modelo expolinear original;
- K = valor médio de k entre 20 e 70 DAE; e
- $L_m$  = valor máximo do índice de área foliar obtido do ajuste da equação de Gauss aos dados de IAF (Capítulo 4).

Esta combinação de  $R_m, t_b, f_m$  e  $C_m^*$  assume que os valores de W calculados são aqueles dados usados no modelo expolinear original ajustado, sendo os parâmetros  $C_m^*$ ,  $t_b$  e  $R_m$  os utilizados no modelo expolinear para gerar os ajustes na Figura 9.5. Desta forma, a Figura 9.5 é idêntica à Figura 9.1, ou seja, os mesmos dados de W plotados contra o tempo.

O IAF foi também estimado, utilizando-se o modelo original (Equação 9.11), proposto por GOUDRIAAN e MONTEITH (1990) (Figura 9.6). Neste modelo, pressupõe-se que o produto  $k p_1$  s  $C_m$  é constante e, portanto,  $R_m$  também é constante. Os parâmetros utilizados neste modelo original (Quadro 9.9) são k,  $R_m$  e  $L_0$  (Equação 9.11). Comparando a estimativa de L, obtida pelo modelo original, com a estimativa de L, obtida pelo modelo de previsão decorrente da expolinear modificada (Figura 9.7), constata-se que, em geral, o primeiro modelo fornece uma melhor estimativa, quando a

cultura encontra-se, em ambiente mais favorável à cultura na fase vegetativa, ao passo que o modelo expolinear modificado (Equação 9.10) apresenta tendência a estimar

$$L = \left(\frac{1}{k}\right) \cdot \text{Log}_e [1 + \exp\{k \cdot L_0\} - 1] \cdot \exp\left(\int_0^t R_m dt\right) \quad (\text{m}^2 \text{ m}^{-2}) \quad (9.11)$$

Quadro 9.8 – Parâmetros requeridos para predição do índice de área foliar (IAF), a partir do modelo expolinear modificado para os tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	k	t <sub>b</sub> (dia)	f <sub>m</sub>	R <sub>m</sub> (g g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	L <sub>m</sub> (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	C <sub>m</sub> * (g m <sup>2</sup> dia <sup>-1</sup> )
1997/98	IPTP	0,536	37,325	0,977	0,117	7,905	22,302
	ISFV	0,906	47,415	0,976	0,083	4,501	15,224
	NIFV	0,543	46,248	0,973	0,093	7,236	26,082
	NIFF	0,690	41,085	0,966	0,091	5,996	21,753
1998/99	IPTP	0,465	44,674	0,972	0,108	8,662	33,774
	ISFV	0,734	33,420	0,953	0,172	3,587	10,299
	NIFV	0,531	36,322	0,976	0,131	6,509	17,943
	NIFF	0,776	48,371	0,983	0,095	6,594	26,739

Quadro 9.9 – Parâmetros requeridos para a predição do índice de área foliar (IAF), a partir do modelo expolinear original, para os tratamentos irrigado por todo o período (IPTP), irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF), nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99 em Viçosa-MG

Ano	Tratamento	k	R <sub>m</sub> (g g <sup>-1</sup> dia <sup>-1</sup> )	L <sub>0</sub> (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )
1997/98	IPTP	0,536	0,117	0,056
	ISFV	0,906	0,083	0,040
	NIFV	0,543	0,093	0,043
	NIFF	0,690	0,091	0,051
1998/99	IPTP	0,465	0,108	0,078
	ISFV	0,734	0,172	0,054
	NIFV	0,531	0,131	0,057
	NIFF	0,776	0,095	0,059

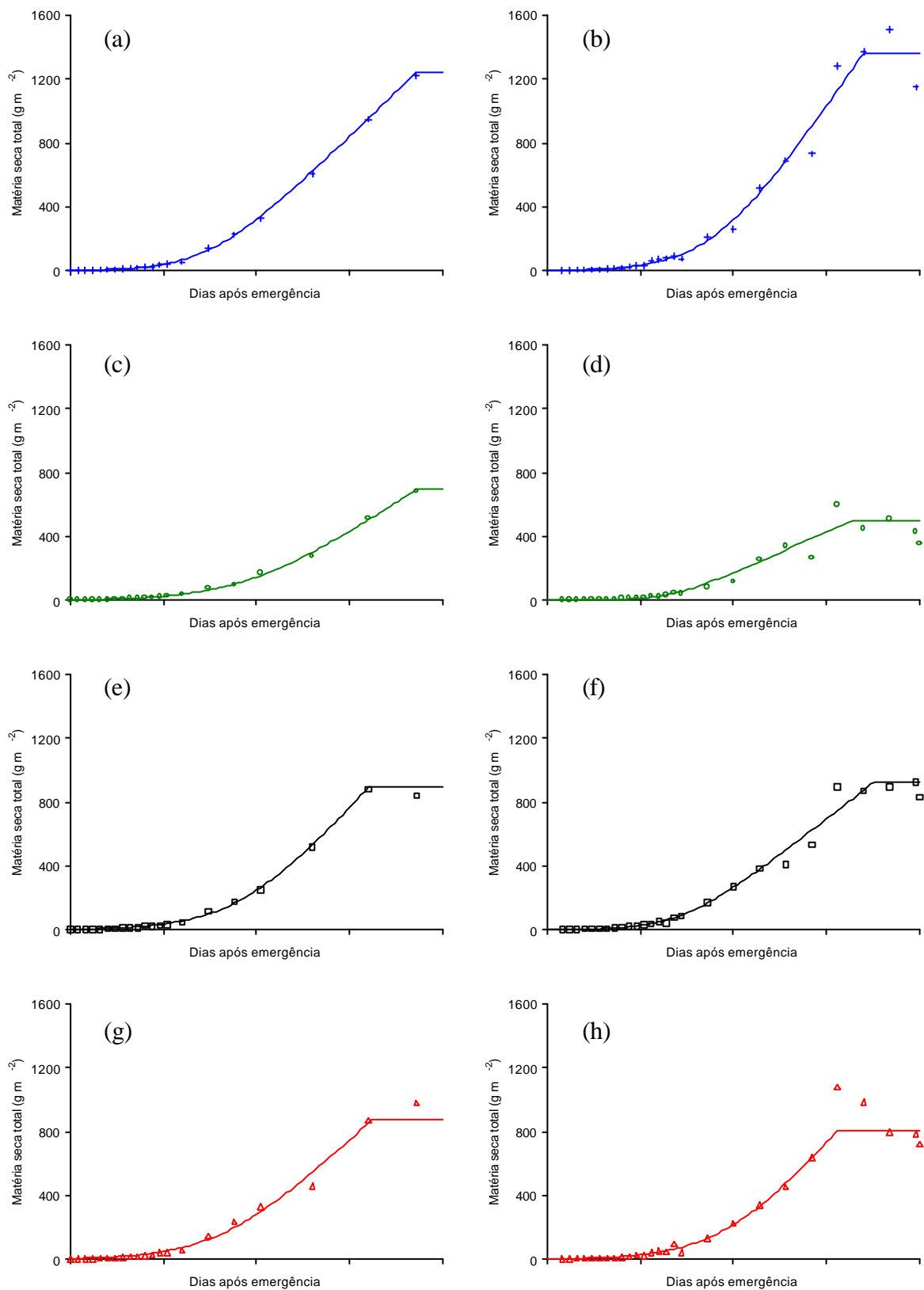


Figura 9.5 – Ajuste do modelo expolinear modificado à matéria seca total da cultura de soja, nos tratamentos ITPP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

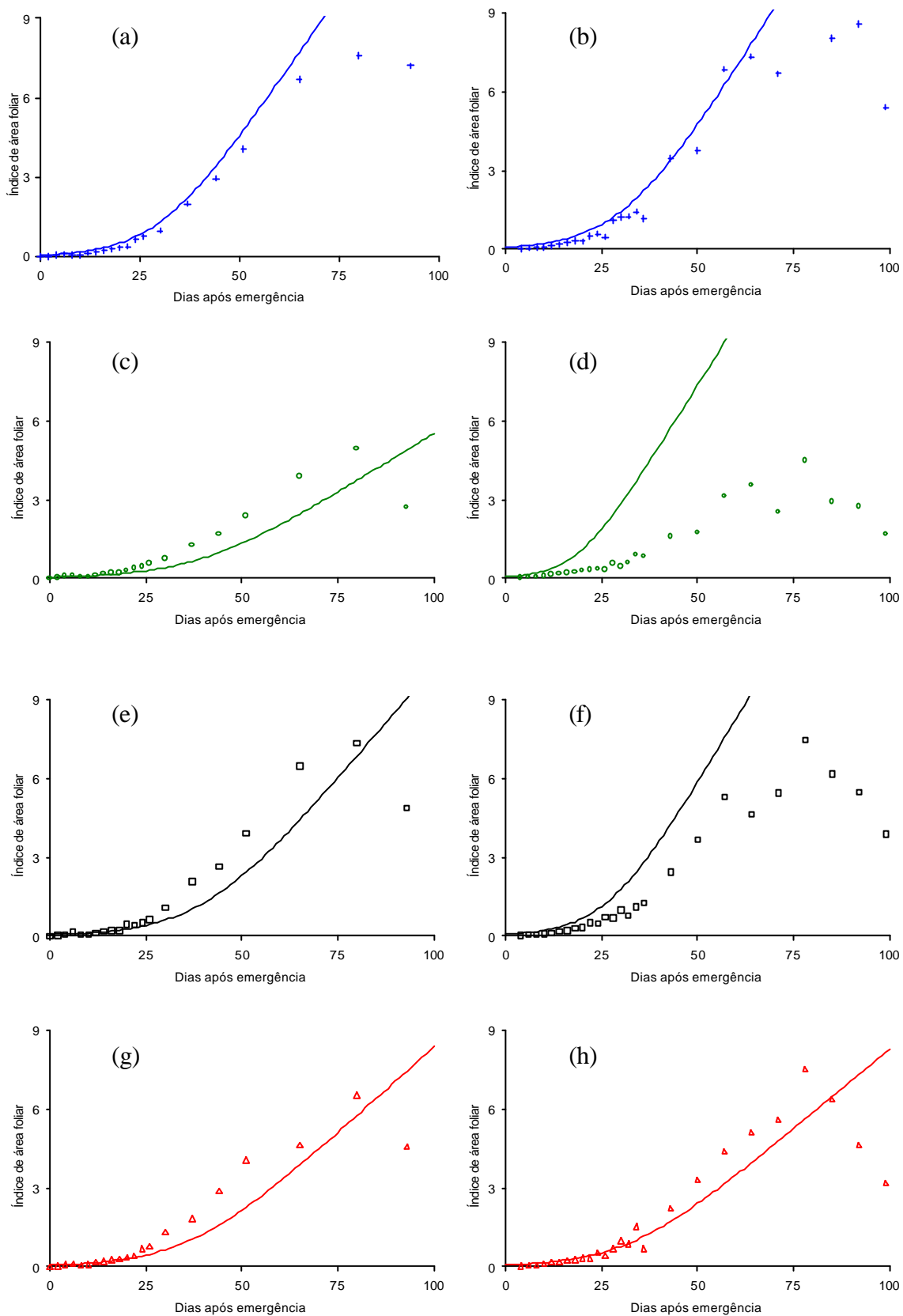


Figura 9.6 – Índice de área foliar estimado pelo modelo expolinear original e dados reais de IAF da cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

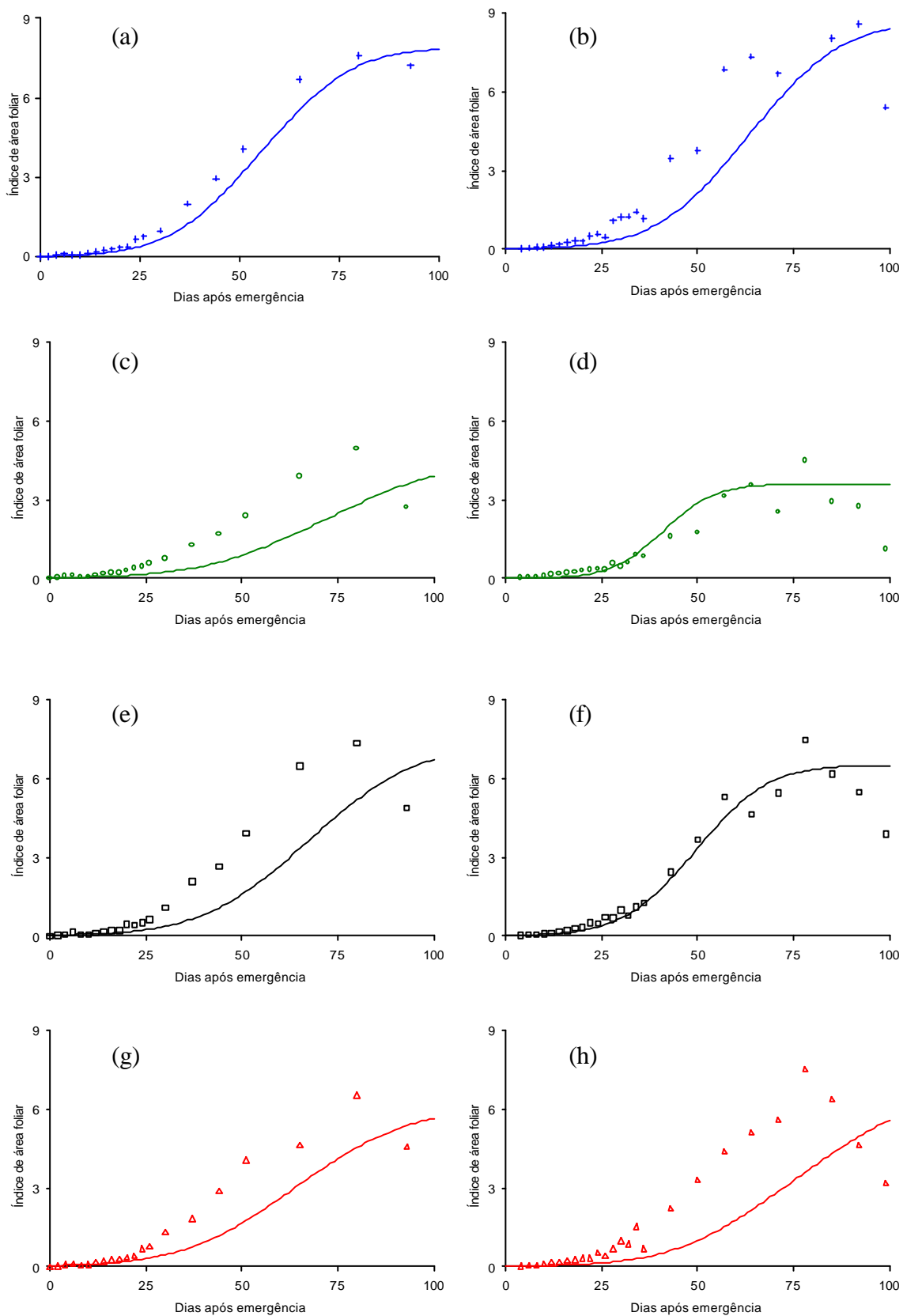


Figura 9.7 – Índice de área foliar estimado pelo modelo expolinear modificado e dados reais de IAF da cultura de soja, nos tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF em 1997/98 [Figuras (a), (c), (e) e (g), respectivamente] e 1998/99 [Figuras (b), (d), (f) e (h), respectivamente] nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

melhor o IAF, quando ocorrem condições desfavoráveis para a cultura, durante a fase vegetativa, apesar de o modelo modificado ter estimado L, razoavelmente, em condições de ambiente favorável, embora tendendo a subestimar.

LAR (L/W) foi estimado, utilizando-se os valores de IAF obtidos da equação modificada (Equação 9.10) e os valores de W foram obtidos da expolinear modificada (Equação 9.9). Para calcular LAR, o truncamento usado na expolinear modificada foi suprimido.

A ocorrência de erros na estimativa é devida, principalmente, ao valor de  $t_b$ , o qual aparece, na maioria das vezes, superestimado para o caso de IAF. Variações no valor de K também podem ser fonte de erros. Em geral, o modelo para L modificado aplica-se melhor que o original, visto que ele tem um truncamento imposto por  $L_m$ , que leva a uma forma na curva estimada, a qual aproxima-se mais da realidade observada.

Verifica-se, portanto, que LAR não é constante (Figura 9.8). Esta mudança inserida no modelo expolinear, torna-a muito mais realista, uma vez que foi demonstrado, experimentalmente, que LAR varia com o tempo.

Em 1997/98, o declínio foi bastante suave, durante todo o período. No ano de 1998/9, este foi também suave, embora apresentando quedas drásticas pelo fato de IAF atingir um máximo, enquanto W continuou crescendo. O ponto de inflexão em LAR coincide com o de IAF.

Comparando-se o comportamento de LAR, obtido pelo modelo expolinear, com o obtido da análise de crescimento clássica (Capítulo 4), verifica-se que os valores máximos obtidos com a expolinear são menores. Para os anos de 1997/98 e 1998/99, o comportamento entre os tratamentos, com relação ao máximo, é semelhante.

## 9.7 Resumo e conclusões

Neste capítulo, verificou-se a aplicação do modelo expolinear em condições de estresse por sombreamento e escassez de água na fase vegetativa, e escassez de água na fase de florescimento, bem como em condições ótimas.

O modelo expolinear mostrou-se muito eficiente em quantificar as taxas máxima de crescimento e máxima de crescimento relativo, e tempo perdido.

Os mesmos parâmetros foram estimados para matéria seca da raiz, do caule e da folha. Para esses parâmetros, o modelo foi mais eficiente, quando ajustado aos dados de matéria seca do caule.

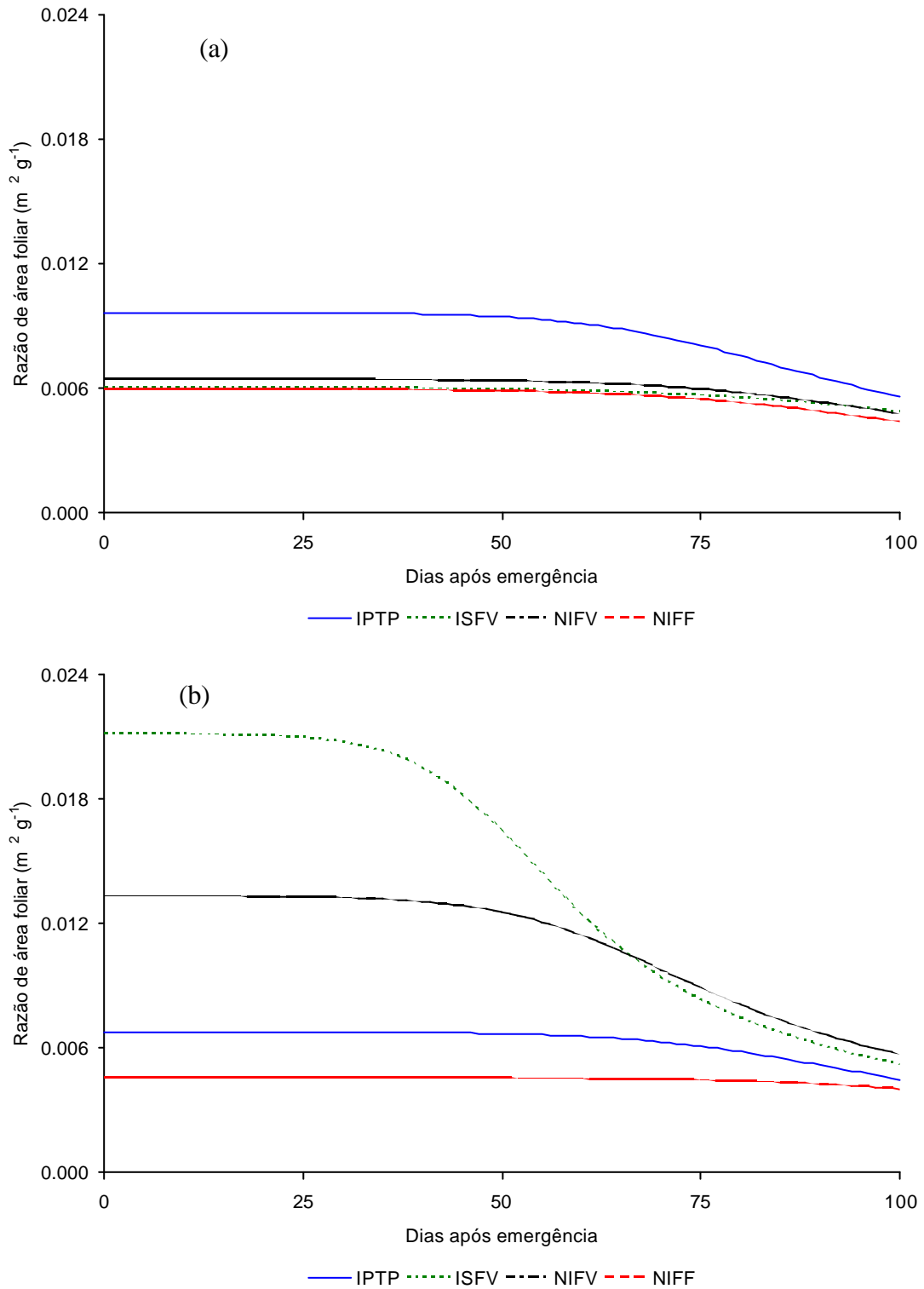


Figura 9.8 – Razão de área foliar ao longo das estações de cultivo de 1997/98 (a) e 1998/99 (b) nos tratamentos irrigado por todo o período (IPTP); irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV), não-irrigado na fase vegetativa (NIFV) e não-irrigado na fase de florescimento (NIFF).

O modelo pode ser ajustado a dados de matéria seca e prever, com grande precisão, os parâmetros ajustados, fornecendo uma descrição adequada do crescimento da planta e de suas partes componentes. Vale ressaltar que amostras freqüentes, no início do ciclo da cultura, são exigidas para que ocorra sucesso no ajuste do modelo.

O modelo de previsão da área foliar original mostrou-se mais limitado do que o modelo modificado, o qual aplicou-se melhor às condições de estresse e, razoavelmente às condições de ambiente adequado.

O modelo mostrou-se mais preciso, quando em sua forma modificada, gerando uma descrição mais realista do crescimento, além de fornecer parâmetros para a descrição do crescimento da área foliar, a qual foi estimada com razoável precisão.

## **9.8 Estudos futuros**

Testar a capacidade preditiva do modelo exponencial, (valores observados *versus* valores produzidos) utilizando os parâmetros encontrados neste estudo.

Testar o modelo para experimentos de campo, em regiões diferentes.

Verificar o comportamento dos parâmetros, em diversos ambientes (pode ser verificado em ambiente controlado) uma vez que a taxa de crescimento relativo máxima ( $R_m$ ) é muito sensível à variação da temperatura e a taxa de crescimento máxima ( $C_m$ ) muito sensível à variação de radiação solar.

Testar o modelo exponencial para outras culturas como, por exemplo, culturas  $C_4$ .

## 10. CONCLUSÕES GERAIS

Plantas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill], variedade cultivada ‘Capinópolis’, crescidas sob condições de menor disponibilidade de água na fase vegetativa, tenderam a diminuir a área foliar e o acúmulo de matéria seca total. Estes parâmetros foram mais drasticamente diminuídos nas plantas sob estresse por falta de luz na fase vegetativa. Também foram diminuídas a taxa de produção de matéria seca, taxa de crescimento relativo, taxa assimilatória líquida e taxa de crescimento da área foliar nos tratamentos estressados. Nestes tratamentos houve aumento nos valores de razão de área foliar, área foliar específica, bem como do índice de colheita no tratamento NIFV e altura das plantas no tratamento ISFV. A produtividade de grãos foi maior no tratamento NIFV, seguido por IPTP, NIFF e ISFV. As produtividades máximas obtidas neste estudo estão acima da média da região de maior produtividade do País (Centro-Oeste) e as produtividades mínimas em torno das médias obtidas na Região Nordeste.

A partição de fotoassimilados não foi alterada de forma muito intensa, embora as proporções tenham sido afetadas pelos tratamentos. A ordem de distribuição de fotoassimilados, ao longo do ciclo, variou de acordo com as transformações morfológicas da planta, independentemente do tratamento aplicado.

A interceptação de radiação solar foi tão maior quanto maior o grau de sombreamento da cultura, sendo o estresse hídrico na fase vegetativa o possível responsável pela menor interceptação nas plantas de NIFV, em relação a NIFF. Os tratamentos que estiveram sob algum sombreamento, apresentaram aumento na EUR, embora no tratamento ISFV esta tenha sido sempre menor do que nos demais

tratamentos, ou seja, embora tenha aumentado a eficiência de interceptação da radiação, este tratamento, não conseguiu aumentar a eficiência de uso da radiação.

Na eficiência de conversão da energia solar, o estresse hídrico na fase vegetativa aumentou a eficiência de conversão da radiação, o mesmo ocorrendo com o sombreamento.

A cultura de soja tendeu a maximizar a EUA, nos tratamentos sob estresse hídrico enquanto, no tratamento sob estresse por sombreamento, a cultura tendeu a diminuir muito a EUA. O tratamento IPTP apresentou valores sempre elevados de EUA.

A taxa fotossintética foi diminuída em virtude de maior resistência estomatal, nos tratamentos estressados por falta de água, e maior resistência do mesófilo no tratamento estressado por falta de luz.

O modelo expolinear foi eficiente em quantificar a taxa máxima de crescimento ( $C_m$ ), a taxa máxima de crescimento relativo ( $R_m$ ), e tempo perdido ( $t_b$ ), tanto para matéria seca total quanto para matéria seca da raiz, do caule e da folha. Esse modelo mostrou-se mais preciso, quando em sua forma modificada, gerando uma descrição mais realista do crescimento, além de fornecer parâmetros para a descrição do crescimento da área foliar, a qual foi estimada com razoável precisão.

A cultura de soja possui, em geral, grande habilidade para lidar com situações adversas, mudando seu comportamento para otimizar o uso dos recursos, embora, no presente estudo, tenha apresentado restrições à penetração da radiação solar, mediante a ocorrência de altos valores de índice de área foliar.

Os parâmetros determinados neste estudo devem ser testados em modelos de crescimento da cultura de soja, embora tenham se mostrado consistentes nos testes realizados no modelo expolinear para previsão do crescimento da área foliar.

Assim, as três principais conclusões deste trabalho foram:

1. Os parâmetros variaram de acordo com o ambiente.
2. Os parâmetros foram altamente dependentes dos elementos climáticos precipitação, temperatura e radiação.
3. A variedade cultivada de soja Capinópolis apresentou grande plasticidade.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACOCK, B.; PACHEPSKY, Y.A.; ACOCK, M.C.; REDDY, V.R.; WHISLER, F.D. Modelling soybean cultivar development rates, using field data from the Mississippi Valley. **Agronomy Journal**, v.89, p.994-1002, 1997.
- ALLEN JR, L.H. Shade-cloth microclimate of soybeans. **Agronomy Journal**, v.67, p.175-181, 1975.
- ALLEN JR, L.H.; BISCAL, E.C.; BOOTE, K.J.; JONES, P.H. Soybean dry matter allocation under subambient and superambient levels of carbon dioxide. **Agronomy Journal**, v.83, p.875-883, 1991.
- ALVES, A.R.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C. Estimativa da radiação solar global diária a partir de dados de insolação, para Viçosa, Minas Gerais. **Experimentae**, v.10, n.27, p.211-222, 1981.
- ANDRADE, F.H.; UHART, S.A.; CIRILO, A. Temperatura affect radiation use efficiency in maize. **Field Crops Research**, v.32, p.17-25, 1993.
- ANGSTRON, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.50, p.121-126, 1924.
- ARANTES, N.E.; SOUZA, P.I. **Simpósio sobre cultura de soja nos cerrados**. Uberaba, MG. 1992. p.268-285.
- ARKEBAUER, T.J.; WEISS, A.; SINCLAIR, R.T.; BLUM, A. In defense of radiation use efficiency: a response to Demetriades. In: SHAH, T.H., FUCHS, M., KANEMASU, E.T., FLITCROFT, I. (Ed.) **Agricultural and Forest Meteorology**, v.68, p.221-227, 1992.
- ARRUDA, F.B.; MASCARENHAS, H.A.A.; VIEIRA, S.R. **Efeito hídrico na produção da soja**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1976. (Boletim, 38).
- BAKER, D.N.; MEYER, R.E. Influence of stand geometry on light interception and net photosynthesis in cotton. **Crop Science**, v.6, p.15-19, 1966.
- BARROS, A.H.C. **Análise do crescimento, do desenvolvimento e da produtividade da cultura do milho (*Zea mays* L.): Experimentos e modelos**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 85p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- BASCUR, G.; OLIVA, M.A.; LAING, D. Termometria infrarroja en seleccion de genótipos de frijol – (*Phaseolus vulgaris* L.) resistentes a sequia II. Crecimiento y produtividade. **Turrialba**, v.35, p.49-53, 1985.
- BHÉRING, M.C.; REIS, M.S.; SEDIYAMA, T.; SEDIYAMA, C.S.; ANDRADE, M.A.S. Influência de épocas de plantio sobre algumas características agrônômicas da soja. **Revista Ceres**, v.38, n.219, p.396-407, 1991.

- BLACKMAN, V.H. The compound interest law and plant growth. **Annals of Botany**, v.33, p.353-360, 1919.
- BLAD, B.L.; BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. **Agronomy Journal**, v.61, p.277-280, 01972.
- BOARD, J.E.; HARVILLE, B.G. Growth dynamics during the vegetative period affects yield of narrow-row, late-planted soybean. **Agronomy Journal**, v.88, p.567-572, 1996.
- BOARD, J.E.; SETTIMI, J.R. Photoperiod requirements for flowering and flower production in soybean. **Agronomy Journal**, v.80, p.518-525, 1988.
- BOARDMAN, N.K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review of Plant Physiology**, v.28, p.355-377, 1977.
- BOARDMAN, N.K.; BJÖRKMAN, O.; ANDERSON, J.M.; GOODCHILD, D.J.; THORNE, S.W. Photosynthetic adaptation of higher plants to light intensity: relationship between chloroplast structure, composition of the photosystems and photosynthetic rates. In: AVRON, M. (Ed.). **Proceedings of the third international congress on photosynthesis**. Amsterdam: 1975. p.1809-1827.
- BOLTON, F.E. Optimizing the use of water and nitrogen through soil and crop management. **Plant and Soil**, v.58, p.231-247, 1981.
- BONGIORNO, C.; DUJMOVICH, M.N. Eficiencia en el uso del agua de lluvia por el cultivo de maíz en la producción de granos y biomasa total. In: REUNIÓN ARGENTINA, 7 Y LATINOAMERICANA DE AGROME-TEOROLGIA, 1, 1997, Buenos Aires. **Acta...** Buenos Aires, s.n., 1977. p.37-38.
- BOOTE, K.J.; JONES, J.W.; PICKERING, N.B. Potential uses and limitations of crop models. **Agronomy Journal**, v.88, p.704-716, 1996.
- BOOTE, K.J.; PICKERING, N.B. Modelling photosynthesis of row crop canopies. **Hort Science**, v.29, n.12, p.1423-1434, 1994.
- BOOTE, K.J.; PICKERING, N.B., BAKER, J.T., ALLAN, L.H. JR. Modeling leaf and canopy photosynthesis of rice in response to carbon dioxide and temperature. **International Rice Research Notes**, v.19., n.3, p.47-48, 1994.
- BOYER, J.S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. **Plant Physiology**, v.46, p.236-239, 1970.
- BOYER, J.S. Leaf enlargement and metabolic rates in corn, soybean, and sunflower at various leaf water potentials. **Plant Physiology**, v.46, p.233-235, 1970.
- BOYER, J.S. Photosynthesis at low water potentials. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.273, p.501-512, 1976.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). II – Análise de crescimento. **Experimentae**, v.15, p.1-21, 1973.
- BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). III – Interceptação de luz e eficiência de conversão de energia solar. **Experimentae**, v.15, p.22-30, 1973.
- BRANDES, D.; VIEIRA, C.; MAESTRI, M.; GOMES, F.R. Efeitos da população de plantas e da época do plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). I - Mudanças morfológicas e produção de matéria seca. **Experimentae**, v.14, p.1-49, 1972.
- BRIGGS, G.E.; KID, F.; WEST, C. A quantitative analysis of plant growth. Part I. **Annals of Applied Biology**, v.7, p.103-123, 1920.
- BROUWER, R. Distribution of dry matter in the plant. **Netherlands Journal of Agricultural Sciences**, v.10, p.361-375, 1962.

- BROWN, D.M. Soybean ecology. I. Development – temperature relationships from controlled environment studies. **Agronomy Journal**, v.52, n.9, p.493-496, 1960.
- BROWN, D.M., CHAPMAN, C.J. Soybean ecology. II. Development - temperature-moisture relationship from field studies. **Agronomy Journal**, v.52, n.9, p.496-499. 1960.
- BROWN, R.H. The conservative nature of crop photosynthesis and the implications of carbon dioxide fixation pathways. In: BOOTE, K.J.; BENNETT, J.M.; SINCLAIR, T.R.; PAULSEN, G.M. (Ed.). **Physiology and determination of crop yield** Madison: 1994. p.211–219.
- BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. I. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v.58, p.389-420, 1932.
- BUGBEE, B.; MONJE, O. The limits of crop productivity. **Bioscience**, v.42, p.494-502, 1992.
- BUTTERY, B.R. Effects of variations in leaf area index on growth of maize and soybean. **Crop Science**, v.10, p.9-13, 1970.
- BUTTERY, B.R.; BUZZELL, R.I. Some differences between soybean cultivars observed by growth analysis. **Canadian Journal of Plant Science**, v.52, p.13-20, 1972.
- CAMARGO, A.P.; CHIARINI, J.V.; DONZELI, P.L.; SICHMANN, W. **ZONEAMENTO DA APTIDÃO ECOLÓGICA PARA A CULTURA DE SOJOA, GIRASSOL E AMENDOIM NO ESTADO DE SÃO PAULO**. INSTIOLES – Instituto privado para o fomento de oleaginosas, Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo, São Paulo, 1971. 35p.
- CANNELL, M.G.R.; SHEPPARD, L.J.; MILNE, R. Light use efficiency and woody biomass production of poplar and willow. **Forestry**, v.61, p.125-136, 1988.
- CARTTER, J.L.; HARTWIG, E.E. The management of soybean. **Advances in Agronomy**, v.14, p.359-412, 1962.
- CAUSTON, D.R. A computer program for fitting the Richards function. **Biometrics**, v.25, p.401-409, 1969.
- CAUSTON, D.R.; VENUS J.C. **The biometry of plant growth**. London: Edward Arnold, 1981. 307p.
- CHAN, A.K. **Simulation of growth and development of faba bean (*Vicia faba* L.)**. Reading, (UK): University of Reading, 1992. 217 p. (Ph.D. Thesis).
- CHANG, J. **Climate and agriculture: an ecological survey**. Chicago: Aldine, 1968. 304p.
- CIHA, A.J.; BRUN, W.A. Stomatal size and frequency in soybeans. **Crop Science**, v.15, p.309-313, 1975.
- CLOUGH, J.M.; PEET, M.M.; KRAMER, P.J. Effects of high atmospheric CO<sub>2</sub> and sink size on rates of photosynthesis of a soybean cultivar. **Plant Physiology**, v.67, p.1007-1010, 1981.
- COLASANTE, L.O.; COSTA, J.A. Índice de colheita e rendimento biológico na comparação da eficiência de variedades de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.16, n.2, p.225-230, 1981.
- COLSON, J.; BOUNIOLS, A.; JONES, J.W. Soybean reproductive development: Adaptation a model for european cultivars. **Agronomy Journal**, v.87, p.1129-1139, 1995.
- CONFALONE, A.E. **Captura e utilização da radiação na cultura da soja (*Glycine max* [L.] Merrill) com e sem irrigação em diferentes estádios de desenvolvimento**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 74p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- CONFALONE, A.E.; COSTA, L.C.; PEREIRA, C.R. Eficiencia de uso de la radiación en distintas fases fenológicas bajo estrés hídrico. **Revista de la Facultad de Agronomía**, v.17, n.1, p.63-66, 1997.
- CONFALONE, A.E.; PEREIRA, C.R.; COSTA, L.C.; DUJMOVICH, M.N. Influencia del deficit hidrico sobre el desarrollo y rendimiento del cultivo de soja en Brasil y Argentina. **Agro-Ciencia**, v.17, n.1, p.3-8, 2001.
- COOPER, C.S. Response of birdsfoot trefoil and alfalfa to various levels of shade. **Crop Science**, v.6, p.63-66, 1966.

- COSTA, L.C. **Respiration, photosynthesis and growth of faba bean (*Vicia faba* L.) under different environmental conditions**. Reading, (UK): University of Reading, 1994. 223 p. (Ph.D. Thesis).
- COSTA, L.C.; CONFALONE, A.E.; PEREIRA, C.R. Effect of water stress on the efficiency of capture of water and radiation by soybean. **Tropical Science**, v.39, p.1-7, 1999.
- COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Effects of water stress, temperature, prolonged darkness and pods on photosynthesis and respiration of individual leaves of *Vicia faba*. **Revista Ceres**, v.45, n.260, p.325-337, 1998.
- COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Carbon balance of growing faba bean and its effect on crop growth: experimental and Modelling approaches. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.4, n.2, p.11-17, 1996.
- COSTA, L.M. **Caracterização das propriedades físicas e químicas dos solos de terraços fluviais, na região de Viçosa, e sua interpretação para uso agrícola**. Viçosa: UFV, 1973. 55p. Dissertação (Mestrado em Solos). Universidade Federal de Viçosa, 1973.
- COSTA, R.C.L.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; BARROS, N.F. Crescimento e conversão de energia solar em feijão submetido a três doses de nitrogênio e dois regimes hídricos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, p.1439-1450, 1989.
- CROOKSTON, R.K.; TREHARNE, K.J.; LUDFORD, P.; OZBUN, J.L. Response of beans to shading. **Crop Science**, v.15, p.412-416, 1975.
- DAVIES, O.L.; KU, J.Y. A re-examination of the fitting of the Richards growth function. **Biometrics**, v.33, p.546-547, 1977.
- DAVIES, W.J.; MANSFIELD, T.A.; HETHERINGTON, A.M. Sensing of soil water status and the regulation of plant growth and development. **Plant Cell Environmental**, v.13, p.709-719, 1990.
- de WIT, C.T. Dynamic concepts in biology. In: I. SETLIK (Ed.). Prediction and Measurement of Photosynthetic Productivity. **Proceedings International Biological Program/Plant Production Technical Meeting Trebon**. Pudoc: 1970. p.17-23.
- DEFELIPO, B.V.; RIBEIRO, A.C. **Análise química do solo (Metodologia)**. Viçosa: UFV, 1981. 17p. (Boletim de Extensão, 29).
- DENNETT, M.D.; ELSTON, J.; MILFORD, J.R. The effect of temperature on the growth of individual leaves of *Vicia faba* L. in the field. **Annals of Botany**, v.43, p.197-208, 1979.
- DOORENBOS, J.; PRUITT, W.O. **Necesidad de agua de los cultivos**, Serie Riego y Drenaje, n.24, FAO, Roma, Italia, 1994. p.1977.
- DORNHOFF, G.M.; SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. **Crop Science**, v.10, p.42-45, 1970.
- DUTRA, J.H. **Comportamento de quinze genótipos de soja (*Glycine max* [L.] Merrill), em diferentes épocas de plantio, em Capinópolis, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1986. 61p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, 1986.
- EGLI, D.B.; LEGGETT, J.E. Nitrogen mobilization during seedfill in soybean. p.884-890. In: R. SHIBLES (ed.) **Proc. World Soybean Res. Conf.**, 3rd, Ames, IA. 12-17 Aug. 1984. Westview Press, Boulder, CO. 1985.
- EHLERINGER, J.; BJÖRKMAN, O. Quantum yields for CO<sub>2</sub> uptake in C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants. **Plant Physiology**, v.59, p.86-90, 1977.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA – EMBRAPA. **Recomendações técnicas para a cultura da soja na Região Central do Brasil, 2000/2001**. Londrina: 2000. 245p. (EMBRAPA Soja, Documento, 146).
- EVANS, G.C. **The Quantitative Analysis of Plant Growth**. Oxford: Blackwell Scientific Publications, 1972. 607p.

- FASHEUN, A.; DENNETT, M.D. Interception of radiation and growth efficiency in field beans (*Vicia faba* L.). **Agricultural Meteorology**, v.26, p.221-229, 1982.
- FHER, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1977. 11p. (Special Report, 80).
- GAASTRA, P. Photosynthesis of crop plant as influenced by light, carbon dioxide, temperature and stomatal diffusion resistance. **Mendeleev Landbouwhogeschool**, v.59, p.1-68, 1959.
- GALLAGHER, J.N.; BISCOE, P.V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal of Agricultural Sciences**, v.91, p.47-60, 1978.
- GARCIA, A. **Estudo do índice de colheita e de outras características agronômicas de dez cultivares de soja, *Glycine max* (L.) Merrill, e de suas correlações com a produção de grãos, em duas épocas de semeadura**. Viçosa, MG: UFV, 1979. 76p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, 1979.
- GARRITY, D.P.; WATTS, D.G.; SULLIVAN, C.Y. Moisture deficits and grain sorghum performance: Evapotranspiration-yield relationships. **Agronomy Journal**, v.74, p.815-820, 1982.
- GATES, D.M. Radiant energy, its receipt and disposal. **Agricultural Meteorology**. WAGGONER, P.E. (Ed.), Chap.1 (Meteorology Monography, v.6, p.1-26) American Meteorology Society, Boston.1965.
- GBIKPI, P.J.; CROOKSTON, R.K. Effect of flowering date on accumulation of dry matter and protein. **Crop Science**, v.21, p.652-655, 1981.
- GOUDRIAAN, J. Using the exponential growth equation to analyze resource capture. In: **Resource Capture by Crops**. MONTEITH, J.L.; SCOTT, R.K; UNSWORTH, M.H. (Ed.). Nottingham: Nottingham University Press, 1994. 469p.
- GOUDRIAAN, J.; MONTEITH, J.L. A mathematical function for crop growth based on and leaf area expansion. **Annals of Botany**, v.66, p.695-701, 1990.
- GOUDRIAAN, J.; Van LAAR, H.H. **Modelling potential crop growth processes**. Dordrecht: Kluwer academic publishers, 1994. 239p.
- GREENWOOD, D.J.; CLEAVER, T.J.; LOQUENS, S.H.H.; NIENDORF, K.B. Relationship between plant weight and growing period for vegetable crops in the United Kingdom. **Annals of Botany**, v.41, p.987-997, 1977.
- GREGORY, F.G. The effect of climatic conditions on the growth of barley. **Annals of Botany**, v.40, p.1-26, 1926.
- GRIMM, S.S.; JONES, J.W.; BOOTE, K.J.; HESKETH, J.D. Parameter estimation for predicting flowering dates of soybean cultivars. **Crop Science**, v.33, p.137-144, 1993.
- HADLEY, P.; ROBERTS, E.; SUMMERFIELD, R.J.; MINCHIN, F.R. Effects of temperature and photoperiod on flowering in soya bean: a quantitative model. **Annals of Botany**, v.53, p.669-681, 1984.
- HANWAY, J.J.; WEBER, C.R. Accumulation of N, P, and K by soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants. **Agronomy Journal**, v.63, p.406-408, 1971.
- HAY, R.K.; WALKER, A.J. **An introduction to the physiology of crop yield** Essex: Longman Scientific & Technical, 1989. 292p.
- HEATH, M.C.; HEBBLETHWAITE, P.D. Seasonal radiation interception, dry matter production and yield determination for a semi-leafless pea (*Pisum sativum*) breeding selection under contrasting field conditions. **Annals of Applied Biology**, v.110, p.413-420, 1987.
- HERBERT, S.J.; LITCHFIELD, G.V. Partitioning soybean seed yield components. **Crop Science**, v.22, p.1074-1079, 1982.
- HESKETH, J.D.; BAKER, D.N.; DUNCAN, W.G. Simulation of growth and yield in cotton: respiration and carbon balance. **Crop Science**, v.11, p.394-398, 1971.

- HESLOP-HARRISON, J. Development, differentiation and yield. In: **Physiological Aspects of Crop Yield**. EASTIN, J.D.; HASKINS, F.A.; SULLIVAN, C.Y.; van BAVEL, C.H.M.; DINAUER, R.C. (Ed.). American Society of Agronomy. Madison: 1969. p.291-321.
- HODGES, T.; FRENCH, V. SOYPHEN: Soybean growth stages modeled from temperature, day length, and water availability. **Agronomy Journal**, v.77, p.500-505, 1985.
- HOLMGREN, P. Leaf factors affecting light-saturated photosynthesis in ecotypes of *Solidago virgaurea* from exposed and shaded habitats. **Physiologia Plantarum**, v.21, p.676-698, 1968.
- HOOGENBOOM, G.; PETERSON, C.M.; HUCK, M.G. Shoot growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agronomy Journal**, v.79, p.598-607, 1987.
- HOSTALÁCIO, S.; VÁLIO, I.F.M. Desenvolvimento de plantas de feijão cv.Goiano Precoce, em diferentes regimes de irrigação. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.19, p.211-218, 1984.
- HUGHES, A.P.; FREEMAN, P.R. Growth analysis using frequent small harvests. **Journal of Applied Ecology**, v.4, p.553-560, 1967.
- HUGHES, G.; KEATINGE, J.D.H. Solar radiation interception, dry matter production and yield in pigeonpea (*Cajanus cajan* (L.) Millspaugh). **Field Crops Research**, v.6, p.171-178, 1983.
- HUNT, R. **Basic growth analysis**. London: Unwin Hyman, 1990. 112p.
- HUNT, R. Plant growth analysis. The rationale behind the use of the fitted mathematical function. **Annals of Botany**, v.43, p.245-249, 1979.
- HUNT, R. **Plant growth curves. The functional approach to plant growth analysis**. London: Edward Arnold, 1982. 248p.
- HUNTER, J.R.; ERICKSON, A.E. Relation of seed germination to soil moisture tension. **Agronomy Journal**, v.44, n.3, p.107-109, 1952.
- JACKSON, M.L. **Soil chemical analysis**. New York: Prentice Hall, 1958. 498p.
- JEFFERIES, R.A.; HEILBRONN, T.D. Water stress as a constraint on growth in the potato crop.1. Model development. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.53, p.185-196, 1991.
- JOHNSON, D.R.; MAJOR, D.J. Harvest index of soybeans as affected by planting date and maturity rating. **Agronomy Journal**, v.71, p.538-541, 1979.
- JOHNSON, I.R.; RIHA, S.J.; WILKS, D.S. Modelling daily net canopy photosynthesis and its adaptation to irradiance and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. **Agricultural Systems**, v.50, p.1-26, 1995.
- JONES, C.A; KINIRY, J.R. **CERES-Maize: A simulation model of maize growth and development**. Texas (College Station): Texas A & M University Press, 1986. 194p.
- JONES, H.G. **Plants and microclimate: a quantitative approach to environmental plant physiology**. Cambridge: Cambridge University Press, 1994. 428p.
- JONES, J.W.; RITCHIE, J.T. Crop growth models. In: HOFFMAN, G.J.; HOWELL, T.A.; SOLOMON, K.H. (Ed.). **Management of farm irrigation systems**. St. Joseph: 1991. p.63-89.
- KAISER, W.M. Effects of water deficit on photosynthetic capacity. **Physiologia Plantarum**, v.71, p.142-149, 1987.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I – Influence of leaf-water potential. **Plant Physiology**, v.44, p.1547-1552, 1969.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II – Effect of light. **Plant Physiology**, v.44, p.1542-1546, 1969.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. I – Influence of leaf-water potential. **Plant Physiology**, v.44, p.1547-1552, 1969.
- KANEMASU, E.T.; TANNER, C.B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II – Effect of light. **Plant Physiology**, v.44, p.1542-1546, 1969.

- KANEMASU, E.T.; THURTELL, G.W.; TANNER, C.B. Design, calibration and field use of a stomatal diffusion porometer. **Plant Physiology**, v.44, p.881-885, 1969.
- KASIM, K.; DENNETT, M.D. Radiation absorption and growth of *Vicia faba* under shade at two densities. **Annals of Applied Biology**, v.109, p.639-650, 1986.
- KAWAMITSU, Y.; AGATA, W.; MIURA, S. Effects of vapour pressure difference on CO<sub>2</sub> assimilation rate, leaf conductance and water use efficiency in grass species. **Journal Faculty Agronomy Kyushu University**, v.31, p.1-10, 1987.
- KINIRY, J.R.; JONES, J.C.; O'TOOLE, R.; BLANCHET, R.; CABELGUENNE, M.; SPANEL, D.A. Radiation-use-efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crop Research**, v.20, p.51-64, 1989.
- KOLLER, H.R. Analysis of growth within distinct strata of the soybean community. **Crop Science**, v.11, p.400-402, 1971.
- KÖLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORUSH, I.S. Growth analysis of the soybean community. **Crop Science**, v.10, p.407-412, 1970.
- KORTE, L.L.; SPECHT, J.E.; WILLIAMS, J.H. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny II. Yield component responses. **Crop Science**, v.23, p.528-533, 1983.
- KORTE, L.L.; WILLIAMS, J.H.; SPECHT, J.E. Irrigation of soybean genotypes during reproductive ontogeny. I. Agronomic responses. **Crop Science**, v.23, p.521-533, 1983.
- KRAMER, P.J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489p.
- KRAMER, P.J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. London: Academic Press, 1995. 495p.
- KVÌT, J.; ONDOCK, J.P. The significance of biomass duration. **Photosynthetica**, v.5, p.417-420, 1971.
- KVÌT, J.; ONDOCK, J.P.; NEÈAS, J.; JARVIS, P.G. Methods of growth analysis. In: ŠESTÁK, Z.; ÈATSKÝ, J.; JAVIS, P.G. (Ed.). **Plant photosynthetic production: Manual of methods**. The Hague: 1971. p.341-391.
- KVÌT, J.; SVOBODA, J.; FIALA, K. Canopy development in stands of *Typha latifolia* L. and *Phragmites communis* Trin. in South Moravia. **Hidrobiologia**, v.10, p.63-75, 1969.
- LAOHASIRIWONG, S. Yield response of selected soybean cultivars to water stress during different reproductive growth periods. In: Tropical and subtropical cropping systems. **Proceedings of a symposium Tsukuda, Japan**. 26 September – 1 October, 1983. Revised Edition, 1986. The Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan, China. Department of Plant Science, Khon Kaen University, Khon Kaen, Thailand.
- LEITE, H.G.; OLIVEIRA, F.H.T. Statistical procedure to test the identity of analytical methods. **Communications in Soil Science and Plant Analysis**, v.33, p.7-8, 2000.
- LIETH, H., WHITTAKER, R.H. **Primary productivity of the biosphere**. New York: Springer-Verlag, 1975. 339p.
- LITTLETON, E.J.; DENNETT, M.D.; ELSTON, J.; MONTEITH, J.L. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions 1. Leaf area. **Journal of Agricultural Sciences**, v.93, p.291-307, 1979.
- LITTLETON, E.J.; DENNETT, M.D.; ELSTON, J.; MONTEITH, J.L. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions 3. Photosynthesis of leaves and pods. **Journal of Agricultural Sciences**, v.97, p.539-550, 1981.
- LITTLETON, E.J.; DENNETT, M.D.; MONTEITH, J.L.; ELSTON, J. The growth and development of cowpeas (*Vigna unguiculata*) under tropical field conditions 2. Accumulation and partition of dry weight. **Journal of Agricultural Sciences**, v.93, p.309-320, 1979.
- LOOMIS, R.S.; CONNOR, D.J. **Crop ecology: productivity and management in agricultural systems**. New York: Cambridge University Press, 1992. 538p.

- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; CARDOSO, M.J.; GOMES, M.M.S.; SOUZA, V.F. Crescimento e conversão da energia solar em *Phaseolus vulgaris* L. submetido a três densidades de fluxo radiante e dois regimes hídricos. **Revista Ceres**, v.33, p.142-164, 1986.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; FREITAS, J.G.; MELGES, E.; BELTRÃO, N.E. M. Análise do crescimento e conversão de energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidade de fluxo radiante. **Revista Ceres**, v.29, p.586-606, 1982.
- MAJOR, D.J.; JOHNSON, D.R.; TANNER, J.W.; AMDERSON, I.C. Effects of daylength budget of the stand. **Journal of Applied Ecology**, v.12, p.269-291, 1975.
- MALKIN, S.; FORK, D.C. Photosynthetic units of sun and shade plants. **Plant Physiology**, v.67, p.580-583, 1981.
- MANICA, I.; COSTA, J.A. **Cultura da soja**. Porto Alegre: Evangraf, 1996. 233p.
- McCREE, K.J. An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions. In: SETLIK, I. (Ed.). The prediction and measurement of photosynthetic productivity. **Proceedings of the IBP/PP Technical Meeting, Trebon, Czechoslovakia**. Pudoc: 1969. p.14-21.
- MELGES, E. **Crescimento, conversão da energia solar e nodulação da soja (*Glycine max* [L.] Merrill) sob quatro níveis de radiação solar, em Viçosa, Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1983. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Viçosa, 1983.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento e conversão da energia solar em soja cultivada sob quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.9, p.1065-1072, 1989.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento, produção de matéria seca e produtividade da soja submetida a quatro níveis de radiação solar. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.9, p.1073-1080, 1989.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Desenvolvimento e partição de assimilados em *Glycine Max* crescida sob quatro densidades do fluxo radiante. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.24, n.9, p.1081-1087, 1989.
- MIGLIORANZA, E. **Modelo matemático-fisiológico para simular o crescimento e a produtividade da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Viçosa, MG: UFV, 1992. 184 p. Tese (Doutorado em Fisiologia Vegetal). Universidade Federal de Viçosa, 1992.
- MILLAR, R.A.; GARDNER, W.R. Effect of soil and plant water potentials of the dry matter production of snap beans. **Agronomy Journal**, v.64, p.559-561, 1972.
- MONSI, M.; SAEKI, T. Über den lichtfaktor in den Pflanzengesellschaften und seine Bedeutung für die Stoffproduktion (The light in plant communities and its significance for dry matter production). **Japanese Journal of Botany**, v.14, p.22-52, 1953.
- MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, v.281, p.227-294, 1977.
- MONTEITH, J.L. Does light limit crop production. In: JOHNSON, C. B. (Ed.). **Physiological process limiting crop productivity**. London: 1981. p.23-38.
- MONTEITH, J.L. Fundamental equations for growth in uniform stands of vegetation. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.104, p.5-11, 2000.
- MONTEITH, J.L. Light distribution and photosynthesis in field crops. **Annals of Botany**, v.29, p.17- 37, 1965.
- MONTEITH, J.L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: Eastin, J.D.; Haskins, F.A.; Sullivan, C.Y.; van Bavel C.H. (Ed.). **Physiological aspects of crop yield** American Society of Agronomy. Madison: 1969. p.89-111.
- MONTEITH, J.L. Solar radiation and productivity in tropical ecosystems. **Journal of Applied Ecology**, v.9, p.747-766, 1972.
- MONTEITH, J.L. The quest for balance in crop Modelling. **Agronomy Journal**, v.88, p.695-697, 1996.

- MONTEITH, J.L.; ELSTON, J. Performance and productivity in the field. In: DALE, J.E.; MILTHORPE, F.L. (Ed.). **The Growth and Functioning of Leaves**. Cambridge: 1983. p.499-518.
- MUCHOW, R.C.; ROBERTSON, M.J.; PENGELLY, B.C. Radiation-use efficiency of soybean, mungbean and cowpea under different environmental conditions. **Field Crops Research**, v.32, p.1-6, 1993.
- MUCHOW, R.C.; SINCLAIR, T.R.; BENNETT, J.M. Response of leaf growth, leaf nitrogen, and stomatal conductance to water deficits during vegetative growth of field-grown soybean. **Crop Science**, v.26, p.1190-1195, 1986.
- MYASAKA, S.; MEDINA, J.C. **A soja no Brasil**. Campinas: ITAL, 1981. 1062p.
- NATARAJAN, M.; WILLEY, R.W. Sorghum-pigeonpea intercropping and the effects of plant population density. 2. Resource Use. **Journal of Agricultural Science**, v.95, p.59-65, 1980.
- NOBEL, P.S. **Physicochemical and environmental plant physiology**. New York: Academic Press, 1991. 635p.
- NOBEL, P.S.; ZARAGOZA, L.J.; SMITH, W.K. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate and illumination during development of leaves of *Plectranthus parviflorus* Henckel. **Plant Physiology**, v.55, p.1067-1070, 1975.
- NOGUEIRA, S.S.S. **Ciclo biológico, características fisiológicas, produção e composição química da semente dos cultivares de soja [*Glycine max* (L.) Merrill.] UFV-1 e IAC-7 em diversas épocas de semeadura**. Piracicaba: ESALQ, 1983. 96p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 1983.
- OOTA, Y.; FUJII, R.; OSAWA, S. Changes in chemical constituents during the germination stage of a bean, *Vigna sesquipedalis*. **Journal of Biochemical**, v.40, p.649-661, 1953.
- PACHEPSKY, L.B.; HASKETT, J.D.; ACOCK, B. An adequate model of photosynthesis – I Parameterization, validation and comparison of models. **Agricultural Systems**, v.50, p.209-225, 1996.
- PASCALE, A.J. Agroclimatic types for soybean crop in Argentina. INTERNATIONAL BIOMETEOROLOGICAL CONGRESS, 3, 1969, Montreux, Switzerland. **Proceedings...** Montreux: s.n., 1969.
- PASCALE, A.J. Tipos agroclimáticos para el cultivo de soja en la Argentina. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria** v.17, p.31-48, 1969.
- PASCALE, A.J.; ESCALES, A.; REMUSSI, C. Reacción de distintas variedades de soja a los factores bioclimáticos de Buenos Aires. **Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria**, v.15, p.29-54, 1963.
- PASSIOURA, J.B. Simulation models: science, snake oil, education, or engineering? **Agronomy Journal**, v.88, p.690-694, 1996.
- PEARCE, R.B.; CARLSON, G.E.; BARNES, D.K.; HART, T.H.; HANSON, C.H. Specific leaf weight and photosynthesis in alfalfa. **Crop Science**, v.9, p.423-426, 1969.
- PEET, M.M.; KRAMER, P.J. Effects of decreasing source/sink ratio in soybeans on photosynthesis, photorespiration, transpiration, and yield. **Plant Cell Environmental**, v.3, p.201-206, 1980.
- PENNING de VRIES, F.W.T. Energie – en koolstofhuishouding bij planten (Energy and carbon management in plants). **Landbouwkundig Tijdschrift**, v.84, n.6, p.208-213, 1972 (in Dutch).
- PENNING de VRIES, F.W.T. The cost of maintenance processes in plant cells. **Annals of Botany**, v.39, p.77-92, 1975.
- PENNING de VRIES, F.W.T.; JANSEN, D.M.; ten BERGE, H.F.M.; BAKEMA, A. **Simulation of ecophysiological processes of growth in several annual crops**. Simulation Monograph 29. Pudoc: Wageningen, 1989. 271p.

- PENNING de VRIES, F.W.T.; Van LAAR, H.H. **Simulation of plant growth and crop production**. Simulation Monograph. Pudoc: Wageningen, 1982. 308p.
- PEREIRA, C.R. **Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja [*Glycine max* (L.) Merrill.], sob deficiência hídrica**. Viçosa, MG: UFV, 1998. 97p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola). Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- PHILIPS, I.D.J. Apical dominance. **Annual Review Plant Physiology**, v.26, p.341-367, 1975.
- PHILIPS, I.D.J. Apical dominance. In: WILKINS, M.B. (Ed.). **The physiology of plant growth and development**. London: 1969. p.165-202.
- PRESCOTT, J.A. Evaporation from a water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society Australian**, v.64, p.114-118, 1940.
- QUEBEDEAUX, B.; SWEETSER, P.B.; ROWELL. Abscisic acid levels in soybean reproductive structures during development. **Plant Physiology**, v.58, p.363-366, 1976.
- QUEIROZ, E.F.; MOLION, L.C.B.; GAUDÊNCIO, C.A.; GARCIA, A. Um modelo matemático de previsão da data de ocorrência de estádios fenológicos de três cultivares de soja. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.31, n.8, p.533-542, 1996.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. **Crop Science**, v.7, p.171-175, 1967.
- RICHARDS, F.J. A flexible growth function for empirical use. **Journal of Experimental Botany**, v.10, p.290-300, 1959.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. (Ed.). **Plant physiology: a treatise**. New York: 1969. p.3-76.
- ROCHA, H.M.; ALVIM, P. de T.; DÖBEREINER, J. Influência da intensidade da radiação solar sobre o crescimento e a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja. **Turrialba**, v.20, p.293-298, 1970.
- ROSENBERG, N.J.; BLAD, B.L.; VERMA, S.B. **Microclimate: The biological environment**. New York: John Wiley & Sons, 1983. 495p.
- ROSENTHAL, W.D.; GERIK, T.J. Radiation use among cotton cultivars. **Agronomy Journal**, v.83, p.655-658, 1991.
- RUSSELL, G.; JARVIS, P.G.; MONTEITH, J.L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS P.G. (Ed.). **Plant canopies: their growth, form and function**. Society for Experimental Biology. Seminar Series 31. Cambridge (Cambridge University Press): 1989. p.21-39.
- RYLE, G.J.A. Effects of light intensity on reproduction in S48 timoty (*Phleum pratense* L.). **Nature**, v.19, p.196-197, 1961.
- SANDS, P.J. Modelling canopy production. I. Optimal distribution of photosynthetic resources. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.593-601, 1995.
- SANDS, P.J. Modelling canopy production. II. From single-leaf photosynthetic parameters to daily canopy photosynthesis. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.22, p.603-614, 1995.
- SANDS, P.J. Modelling canopy production. III. Canopy light-utilization efficiency and its sensitivity to physiological and environmental variables. **Australian Journal of Plant Physiology**, v.23, p.103-114, 1996.
- SCHÖFFEL, E.R.; VOLPE, C.A. Eficiência de conversão da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja para a produção de fitomassa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, v.9, n.2, p.241-249, 2001.
- SCOTT H.D.; BATCHELOR J.T. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. **Agronomy Journal**, v.71, p.776-782, 1979.
- SCOTT H.D.; FERGUSON, J.A.; WOOD, L.S. Water use, yield, and dry matter accumulation by determinate soybean grown in a humid region. **Agronomy Journal**, v.79, p.870-875, 1987.

- SCOTT, R.K.; WILCOCKSON, S.J. Application of physiological and agronomic principles to the development of the potato industry. In: HARRIS, P.M. (Ed.). **The Potato Crop**. Chapman and Hall: 1978. p.678-704.
- SEDIYAMA, T.; GOMES, J.L.L.; TEIXEIRA, R.C.; ROCHA, V.S.; SEDIYAMA, C.S.; REIS, M.S.; DUTRA, J.H.; ARANTES, N.E.; YAMANKA, C.H.; ANDRADE, M.A.S.; BRITO, S.A.; VILARINHO, F.M.A. '**CAPINÓPOLIS**' ('UFV-16') **Comportamento em Minas Gerais**, Folder, UFV, Centro de Ciências Agrárias, DPTO de Fitotecnia, Conselho Técnico de Extensão, Viçosa, Minas Gerais, 1995.
- SEDIYAMA, T.; REIS, M.R.; SEDIYAMA, T.; DESTRO, D. **Produção de sementes de soja em Minas Gerais, considerações técnicas**. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Fitotecnia. Viçosa, 1981. 38p.
- ŠESTÁK, Z.; ÈATSKÝ, J.; JAVIS, P.G. **Plant photosynthetic production: Manual of methods**. Dr. W. JUNK N.V.: The Hague. 1971. 388p.
- SHANKER, U.; AGRAWAL, K.K.; GUPTA, V.K. Heat-unit requirement of rainfed soybean (*Glycine max*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.66, n.7, p.401-404, 1996.
- SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, v.5, p.53-56, 1966.
- SHIBLES, R.M.; WEBER, C.R. Leaf area, solar radiation interception, and dry matter production by various soybean planting patterns. **Crop Science**, v.6, p.55-59, 1965.
- SIBMA, L. Growth of closed green crop surfaces in the Netherlands. **Netherlands Journal of Agricultural Sciences**, v.16, p.211-216, 1968.
- SILVA, E.R. **Comportamento de variedades de soja, *Glycine max* [L.] Merrill, em algumas localidades de Minas Gerais**. Viçosa, MG: UFV, 1970. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, 1970.
- SINCLAIR, T.R. Canopy carbon assimilation and crop radiation-use efficiency dependence on leaf nitrogen content. In: BOOTE, K.J.; LOOMIS, R.S. (Ed.). Modelling crop photosynthesis from biochemistry to canopy. **Crop Science**, CSSA Special Publication n.19. Madison: 1991. p.95-107.
- SINCLAIR, T.R. Soybean yield in Argentina in response to weather variation among cropping seasons. **Field Crops Research**, v.30, p.1-11, 1992.
- SINGH, B. P. Effect of shade growth of spring barley. **Phyton**, v.36, p.53-60, 1978.
- SINGH, M.; OGREN, W.L.; WIDHOLIM, J.M. Photosynthetic characteristics of several C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plant species grown under different light intensities. **Crop Science**, v.14, p.563-566, 1974.
- SINGH, R.; NEHRA, D.S.; SINGH, R.; NIWAS, R.; BISHNOI, O.P. Radiation interception and its efficiency for dry-matter production in toria (*Brassica rapa var napus*). **Indian Journal of Agricultural Sciences**, v.66, n.2, p.95-100, 1996.
- SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agronomy Journal**, v.69, p.274-278, 1977.
- SQUIRE, G.R. **The physiology of tropical crop production**. UK: CAB International, 1990. 236p.
- STONE, L.F.; MOREIRA, J.A.A.; SILVA, S.C. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. I – Produtividade. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.161-167, 1988.
- STONE, L.F.; PORTES, T.A.; MOREIRA, J.A.A. Efeitos da tensão da água do solo sobre a produtividade e crescimento do feijoeiro. II – Crescimento. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v.23, p.503-510, 1988.
- STOCKLE, C.O.; KINIRY, J.R. Variability in crop radiation-use efficiency associated with vapour-pressure-deficit. **Field Crops Research**, v.25, p.171-181, 1990.

- SUMMERFIELD, R.J.; LAWN, R.J.; ELLIS, R.H.; QI, A.; ROBERTS, E.H.; SHANMUGASUNDARAM, S.; CHAY, P.M.; BROUWER, J.B.; ROSE, J.L.; YEATES, S.J.; SANDOVER, S. **Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops**. Berkshire: CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures, 1996. 121p.
- SUMMERFIELD, R.J.; LAWN, R.J.; QI, A.; ELLIS, R.H.; ROBERTS, E.H.; CHAY, P.M.; BROUWER, J.B.; ROSE, J.L.; SHANMUGASUNDARAM, S.; YEATES, S.J.; SANDOVER, S. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. II. Soyabean (*Glycine max*). **Experimental Agriculture**, v.29, p.253-289, 1993.
- SUMMERFIELD, R.J.; ROBERTS, E.H.; ELLIS, R.H.; LAWN, R.J. Towards the reliable prediction of time to flowering in six annual crops. I. The development of simple models for fluctuating field environments. **Experimental Agriculture**, v.27, p.11-31, 1991.
- TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Plant physiology**. Redwood: The Benjamin/Cummings Publishing Company, 1991. 565 p.
- TANNER, J.W.; AHMED, S. Growth analysis of soybeans treated with TIBA. **Crop Science**, v.14, p.371-374, 1974.
- TETENS, O. Uber cinige meteorologische Begriffe. **Zea Geophysics**, v.6, p.297-309, 1930.
- THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology: A quantitative approach to problems in plant crop physiology**. London: Academic Press, 1976. 318p.
- TURCO, J.E.P.; PINOTTI JÚNIOR, M.; FERNANDES, E.J.; RODRIGUES, T. de J.D. Adequação de um modelo de crescimento da cultura de soja para terrenos com diferentes exposições e declividade. **Engenharia Agrícola**, v.17, n.4, p.25-34, 1998.
- TURNER, N.C. Stomatal resistance to transpiration in three contrasting canopies. **Crop Science**, v.9, p.303-307, 1969.
- TURNER, N.C.; SCHULZE, E.; COLLAN, T. The responses of stomata and leaf gas-exchange to vapor pressure deficits and soil water content. II. In the mesophytic herbaceous species, *Heliantus annuus*. **Oecologia**, v.65, p.348-355, 1985.
- UNITED STATES Department of Agriculture - USDA. **Soybeans**. World soybean production and ending stocks. Selected countries & regions, 1996/97-1998/99 projected. Washington D.C: 1998.
- VERNON, A.J.; ALLISON, J.C.S. A method of calculating net assimilation rate. **Nature**, v.200, p.814, 1963.
- WAHUA, T.A.T.; MILLER, D.A. Effects of shading on the N<sub>2</sub> – fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. **Agronomy Journal**, v.70, p.387-392, 1978.
- WALLACE, D.H.; MUNGER, H.M. Studies of the physiological basis of yield differences. I. Growth analysis of six dry bean varieties. **Crop Science**, v.5, p.343-348, 1965.
- WATKINSON, A.R.; LAWN, R.J.; ELLIS, R.H.; QI, A.; SUMMERFIELD, R.J. **RoDMod, a computer program for characterising genotypic variation in flowering responses to photoperiod and temperature**. Berkshire: CSIRO. Division of Tropical Crops and Pastures, 1994. 49p.+ Program disc. ISBN O 643 057153.
- WATSON, D.J. Comparative physiological studies on the growth of field crops I. Variation in net assimilation rate and leaf area. **Annals of Botany**, v.11, p.41-76, 1947.
- WATSON, D.J. The dependence of net assimilation rate on leaf area index. **Annals of Botany**, v.22, p.37-54, 1958.
- WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. **Advances in Agronomy**, v.4, p.101-145, 1952.
- WHIGHAM, D.K.; MINOR, H.C. Agronomic characteristics and environmental stress. In: NORMAN, A.G. (Ed.). **Soybean physiology, agronomy, and utilization**. New York: Academic Press, 1978. p.78-116.

- WILKERSON, G.; JONES, K.; BOOTE, K.T.; INGRAM, L.; MISHOE, J.W. Modelling soybean growth for crop management. **Transactions of the ASAE**, v.26, p.63-73, 1983.
- WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S.; LEPLEY, C.R. Vegetative growth of corn as affected by population density. 1. Productivity in relation to interception of solar radiation. **Crop Science**, v.5, p.211-215, 1965.
- YAMAGUCHI, J. Respiration and the growth efficiency in relation to crop productivity. **Journal Faculty Hokkaido University**, v.59, p.59-129, 1978.
- YIN, X.; KROPFF, M.J.; McLAREN, G.; VISPERAS, R.M. A nonlinear model for crop development as a function of temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, v.77, p.1-16, 1995.

## **APÊNDICE**

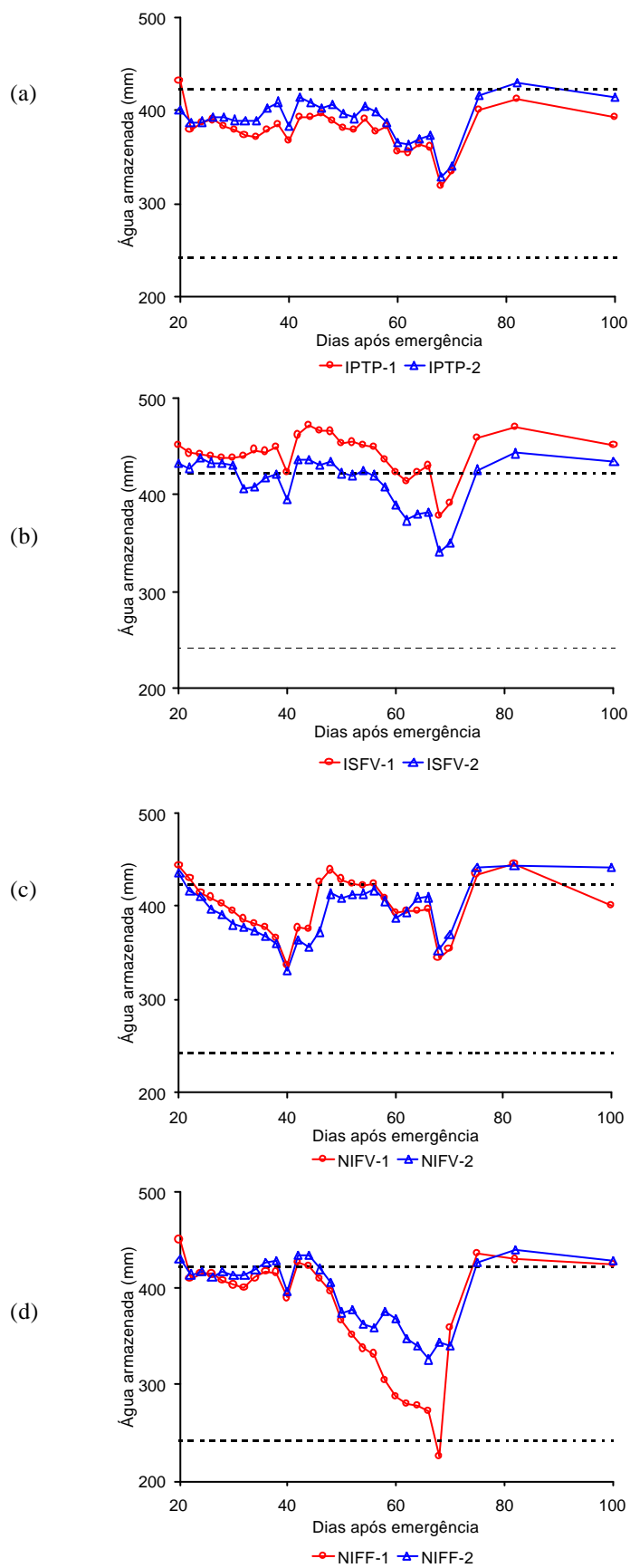


Figura 1A – Água armazenada no perfil do solo à profundidade de 80 cm, nos tratamentos IPTP (a), ISFV (b), NIFV (c) e NIFF (d) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99, em Viçosa-MG.

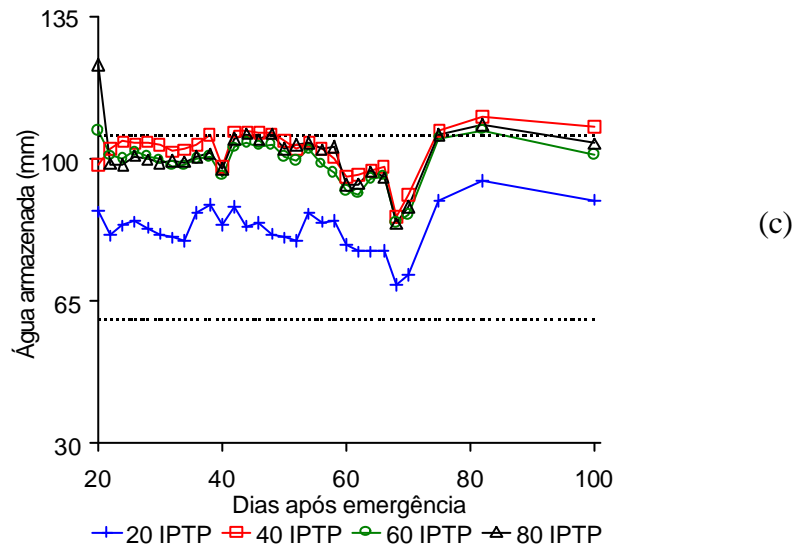
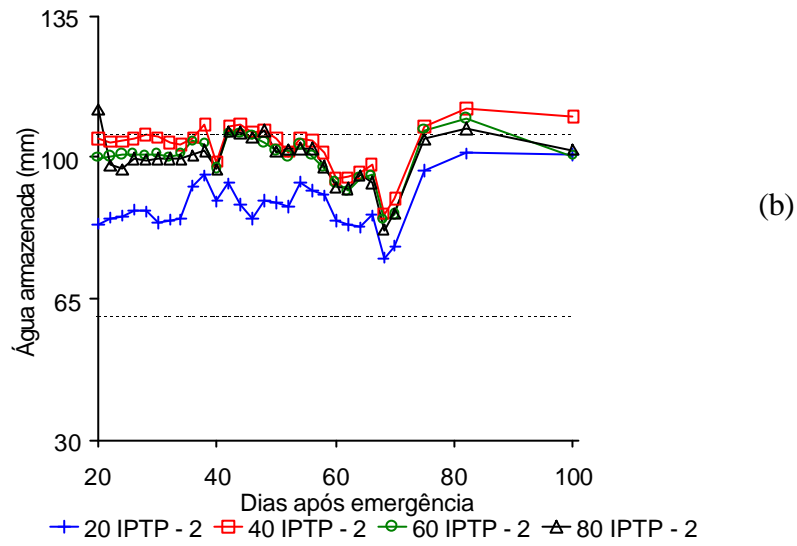
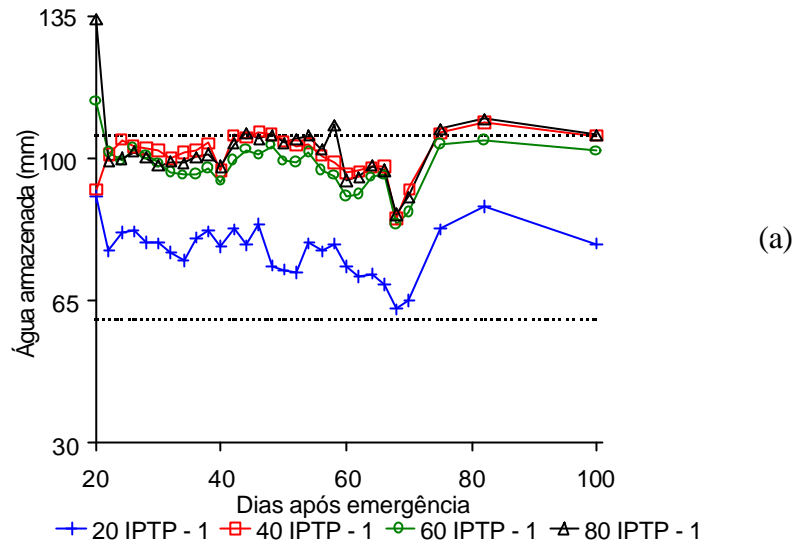


Figura 2A – Água armazenada nas camadas de solo de 0-20 (20), 20-40 (40), 40-60 (60) e 60-80 (80) cm, para o tratamento IPTP, nas repetições IPTP-1 (a), IPTP-2 (b) e na média entre as duas repetições IPTP (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

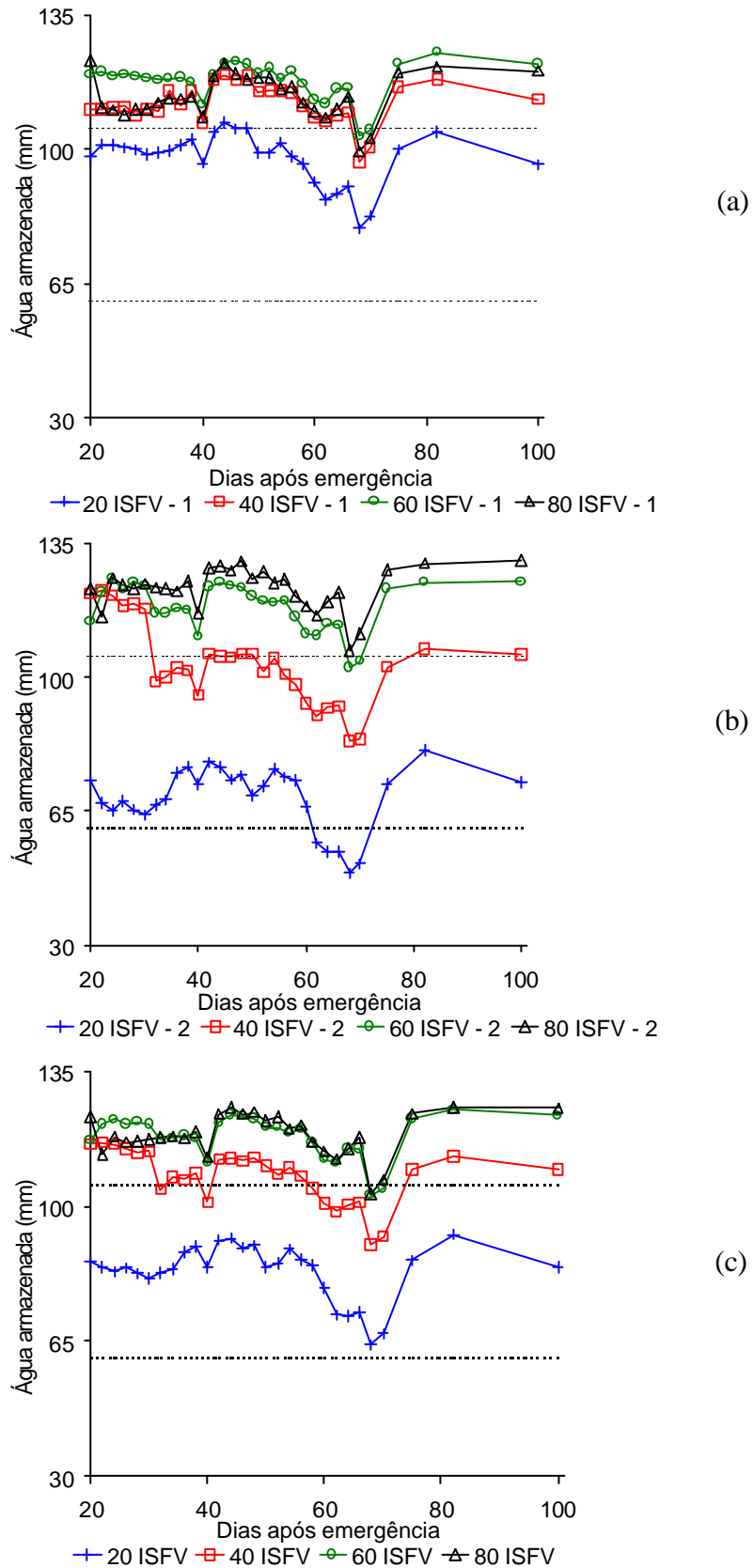


Figura 3A – Água armazenada nas camadas de solo de 0-20 (20), 20-40 (40), 40-60 (60) e 60-80 (80) cm, para o tratamento ISFV, nas repetições ISFV-1 (a), ISFV-2 (b) e na média entre as duas repetições ISFV (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

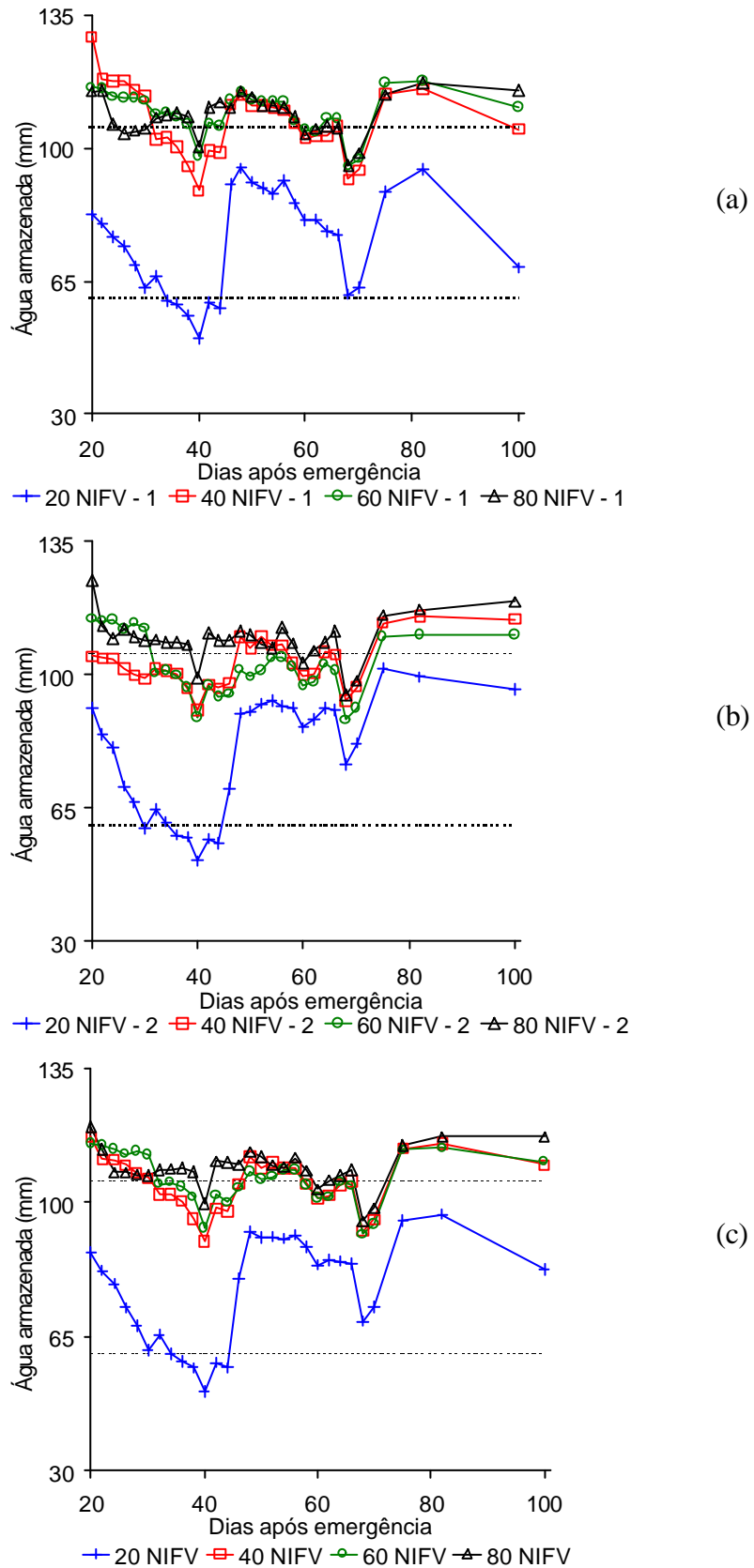


Figura 4A – Água armazenada nas camadas de solo de 0-20 (20), 20-40 (40), 40-60 (60) e 60-80 (80) cm, para o tratamento NIFV, nas repetições NIFV-1 (a), NIFV-2 (b) e na média entre as duas repetições NIFV (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

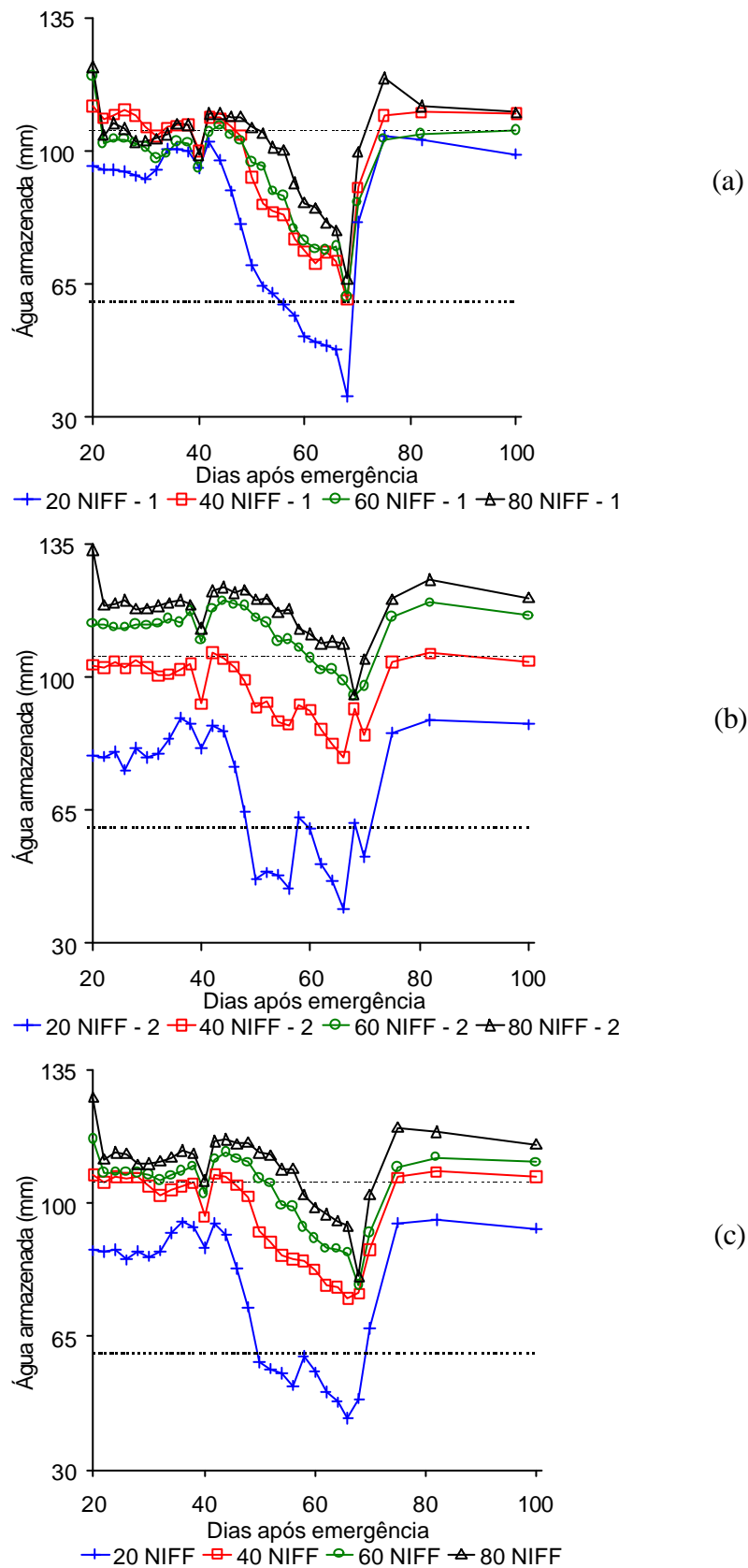


Figura 5A – Água armazenada nas camadas de solo de 0-20 (20), 20-40 (40), 40-60 (60) e 60-80 (80) cm, para o tratamento NIFF, nas repetições NIFF-1 (a), NIFF-2 (b) e na média entre as duas repetições NIFF (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

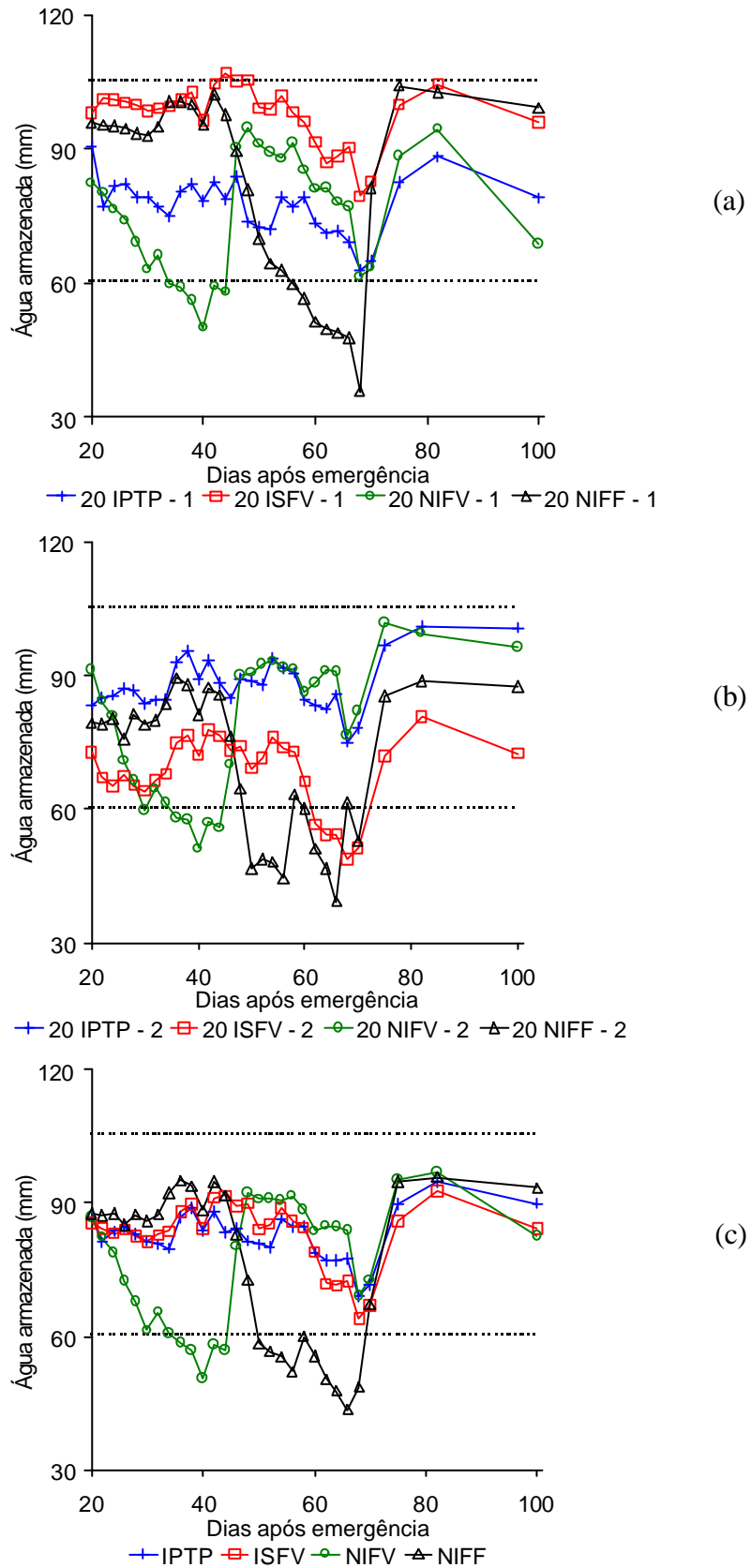


Figura 6A – Água armazenada na camada de solo de 0-20 cm, para os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, nas repetições 1 (a), 2 (b) e na média entre as duas repetições (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

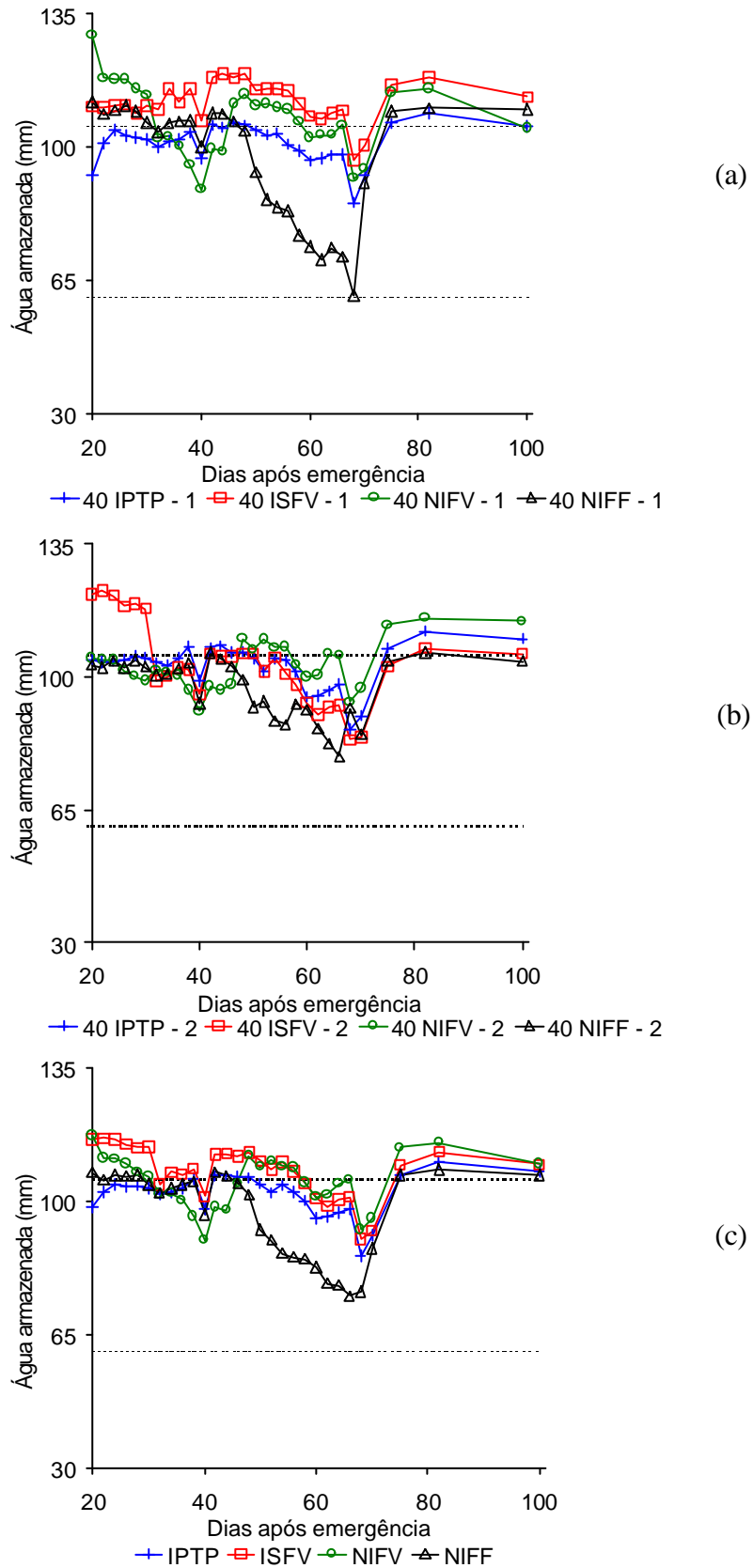


Figura 7A – Água armazenada na camada de solo de 20-40 cm, para os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, nas repetições 1 (a), 2 (b) e na média entre as duas repetições (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

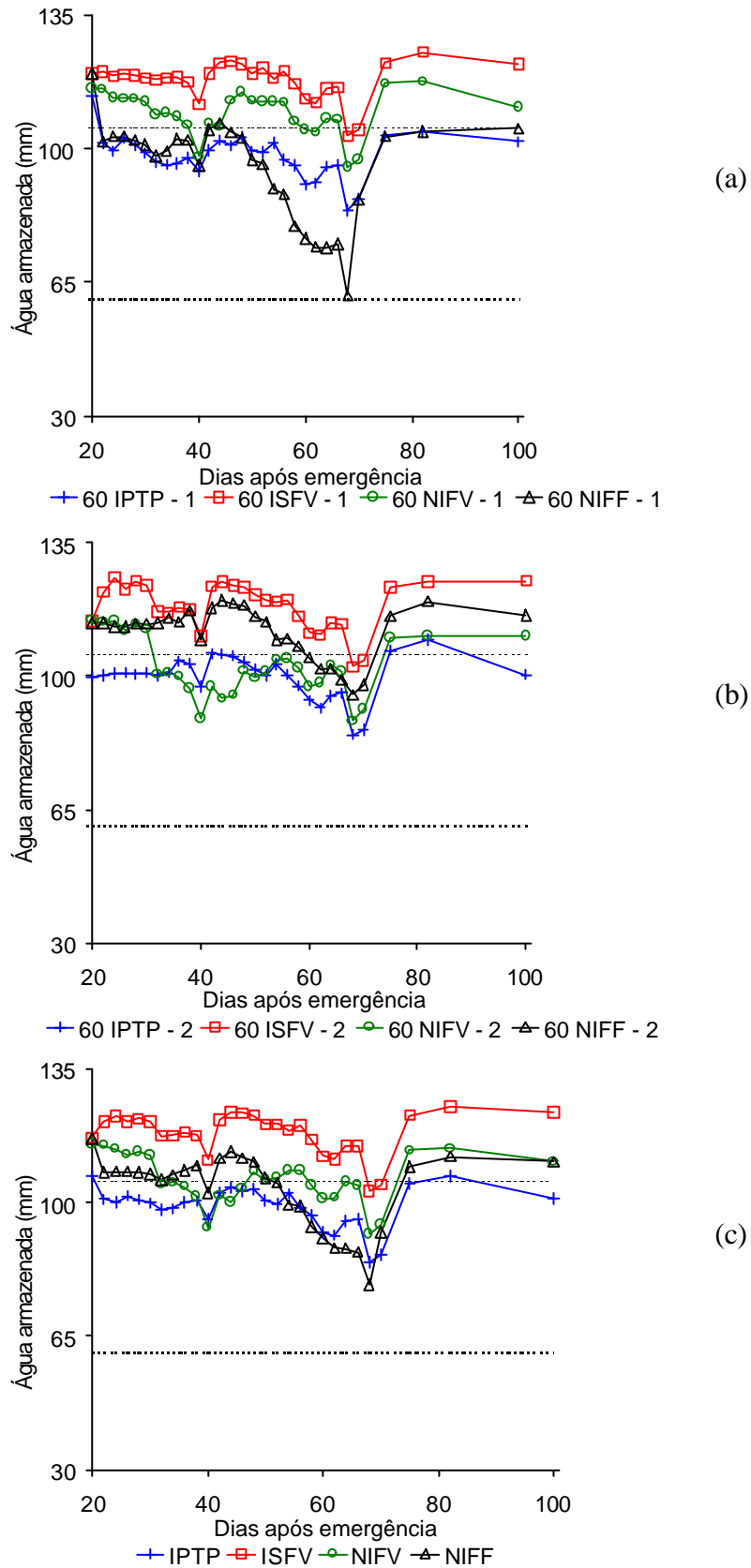


Figura 8A – Água armazenada na camada de solo de 40-60 cm, para os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, nas repetições 1 (a), 2 (b) e na média entre as duas repetições (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

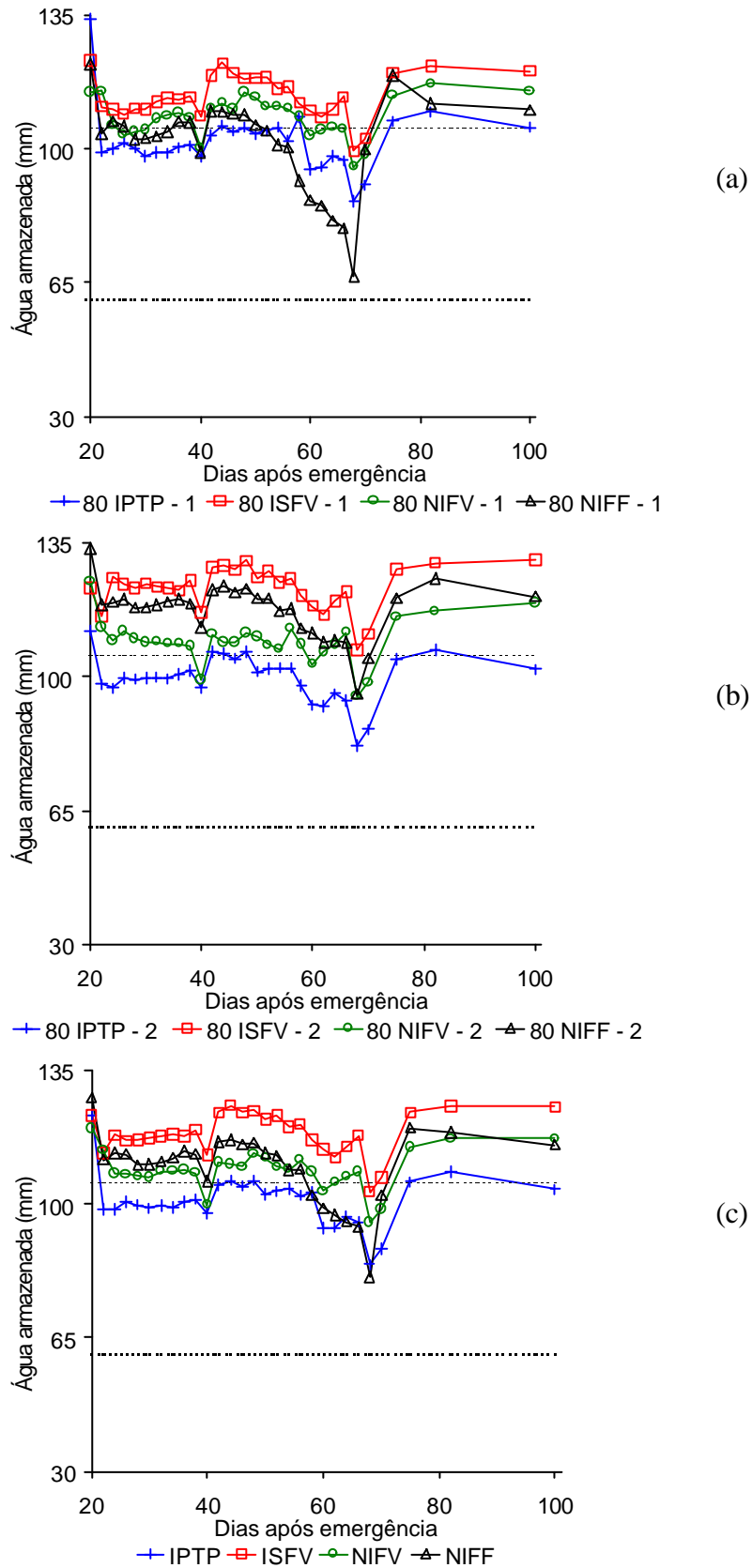


Figura 9A – Água armazenada na camada de solo de 60-80 cm, para os tratamentos IPTP, ISFV, NIFV e NIFF, nas repetições 1 (a), 2 (b) e na média entre as duas repetições (c) durante o ciclo da cultura, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

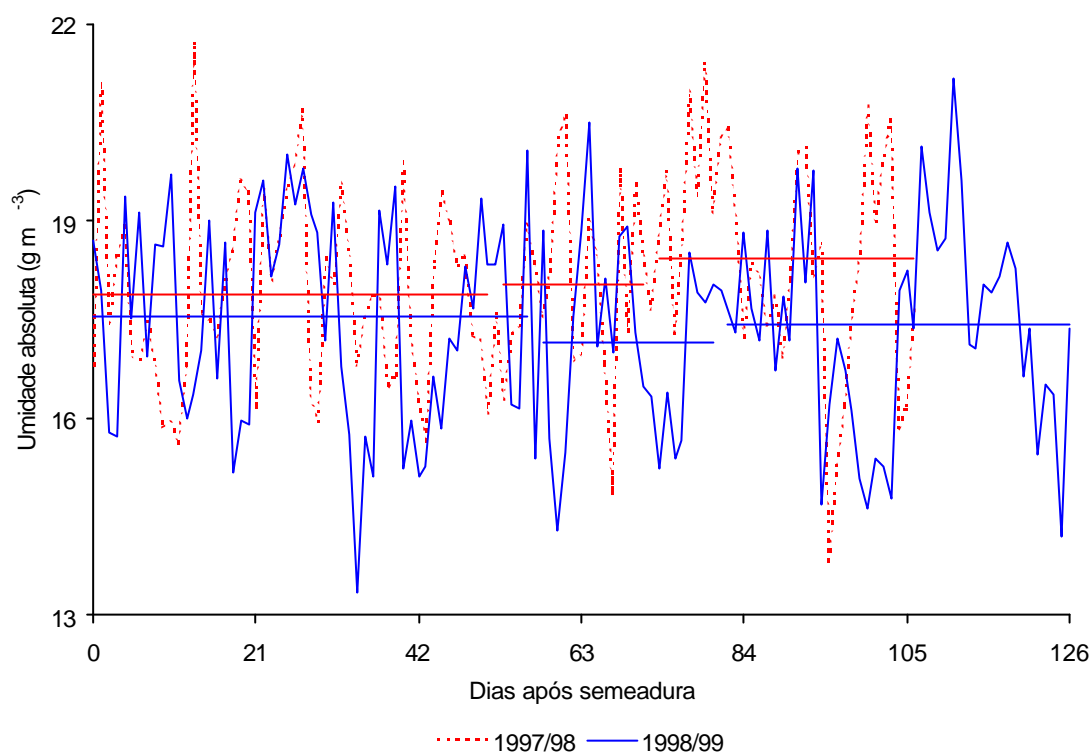


Figura 10A – Umidade absoluta ( $\bar{n}_v$ ) para o período de 12/12/1997 a 28/03/1998 (1997/98) e para o período de 09/12/1998 a 15/04/1999 (1998/99), nas condições do ensaio, em Viçosa-MG.

Quadro 1A - Produtividade de grãos em toneladas por hectare nos ensaios realizados durante as estações de cultivo de 1997/98 e 1998/99, em Viçosa-MG

Ensaio	Tratamento	Produtividade de grãos (t ha <sup>-1</sup> )	Desvio-Padrão (t ha <sup>-1</sup> )
1997/98	IPTP	3,6930	0,8977
	ISFV	2,6536	1,2481
	NIFV	3,6855	1,0037
	NIFF	3,0011	0,9608
1998/99	IPTP	3,5804	1,4504
	ISFV	1,7282	0,6482
	NIFV	3,8714	1,2289
	NIFF	2,4827	0,7003

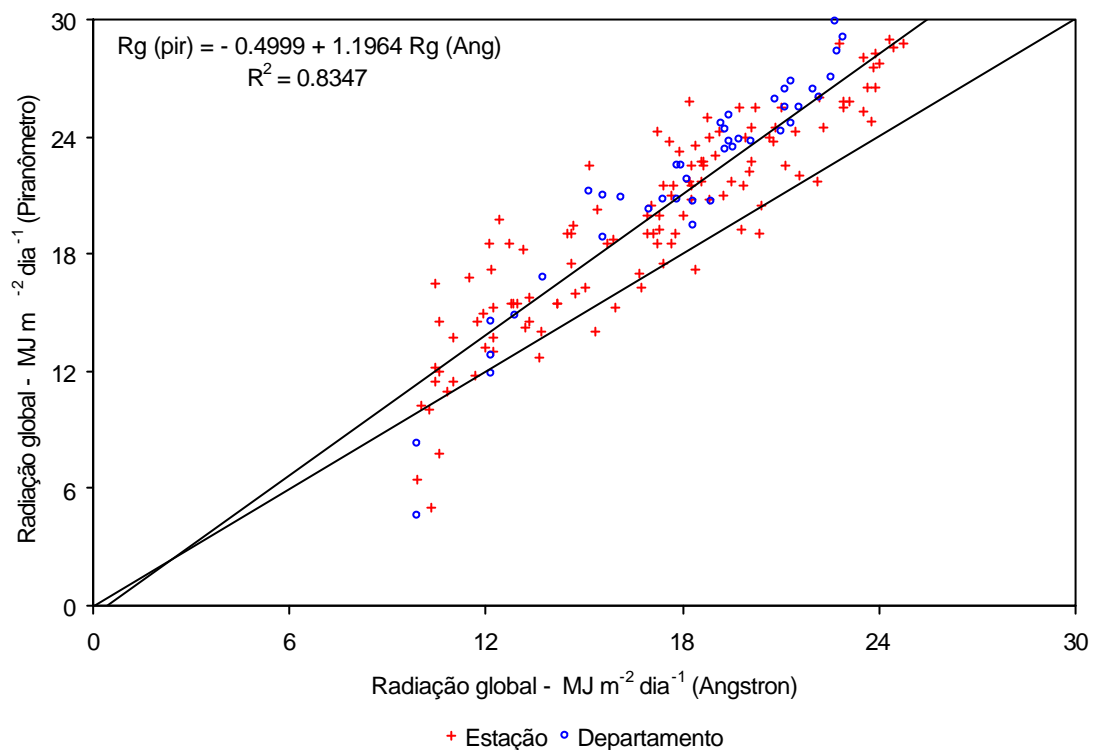


Figura 11A – Relação entre a radiação global estimada por meio do modelo de Angstron e medida em um piranômetro Eppley, no Departamento de Engenharia Agrícola (círculo aberto) e na estação climatológica do aeroporto (cruz).

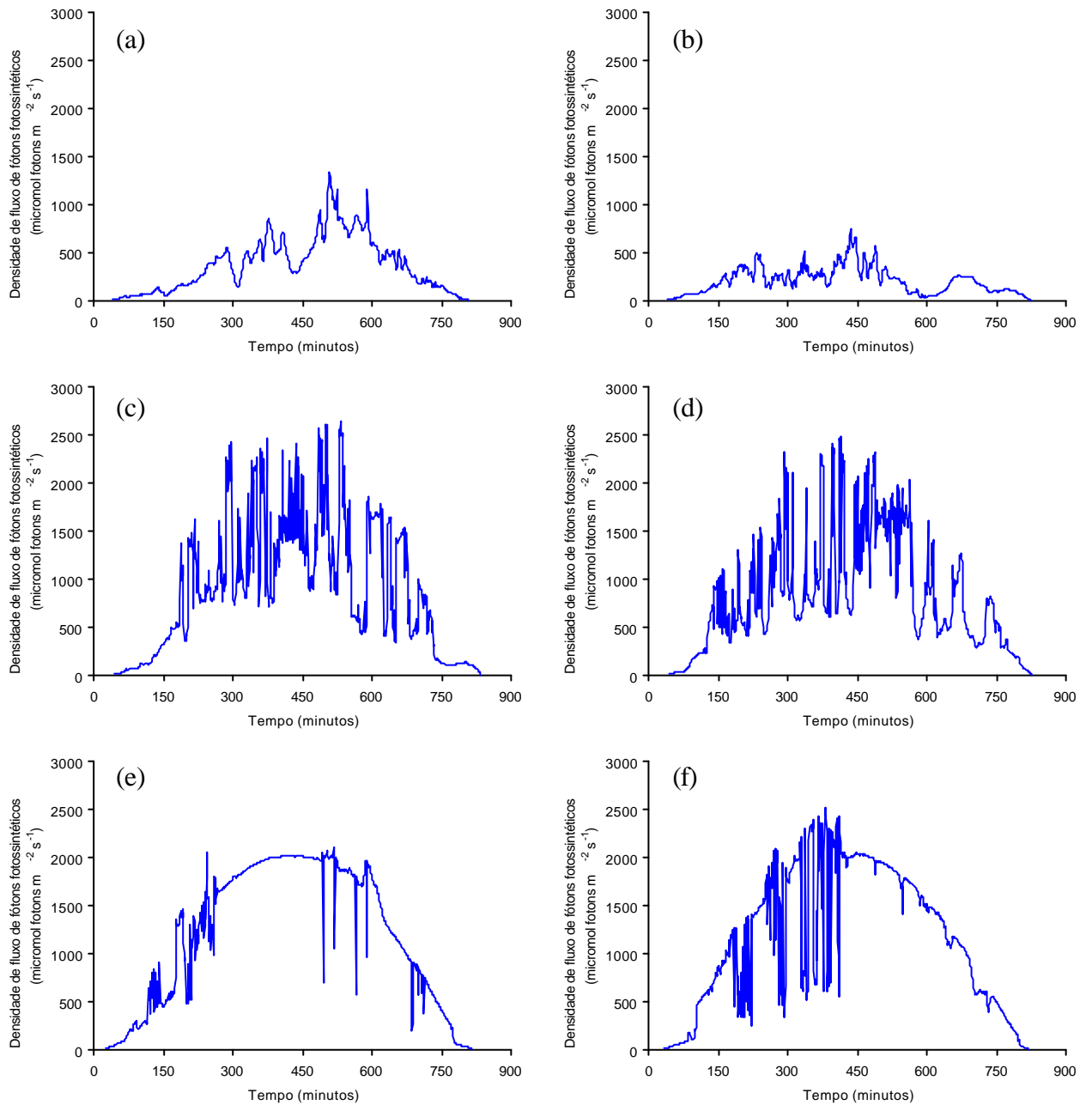


Figura 12A – Distribuição da radiação fotossinteticamente ativa, em Viçosa, em dias nublados 01/01/ 2001 (a) e 03/01/2001 (b); dias parcialmente nublados 14/01/2001 (c) e 16/01/2001 (d); e dias de céu totalmente limpos 11/01/2001 (e) e 06/01/2001 (f).

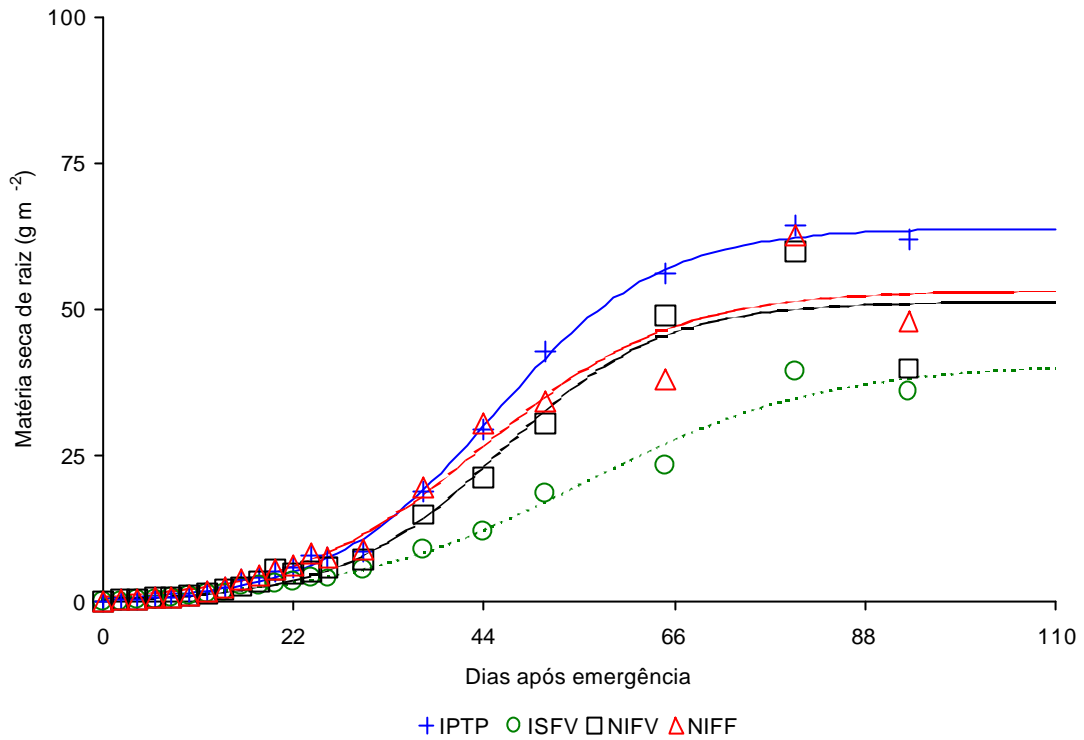


Figura 13A – Acúmulo de matéria seca das raízes ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

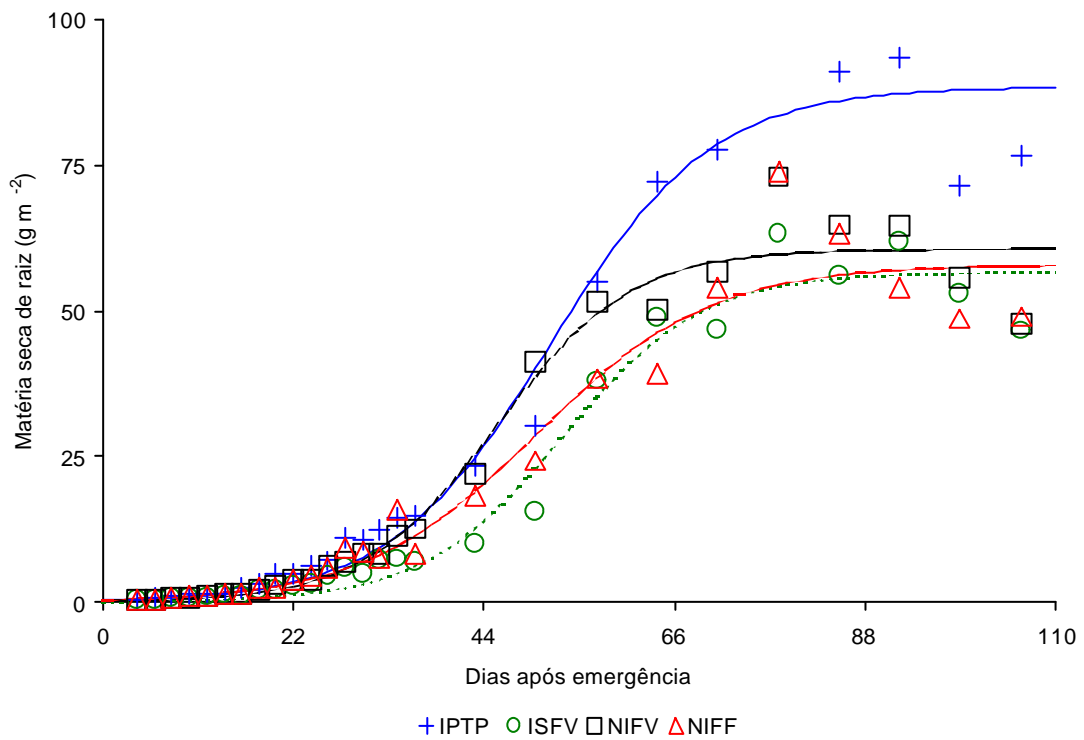


Figura 14A – Acúmulo de matéria seca das raízes ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

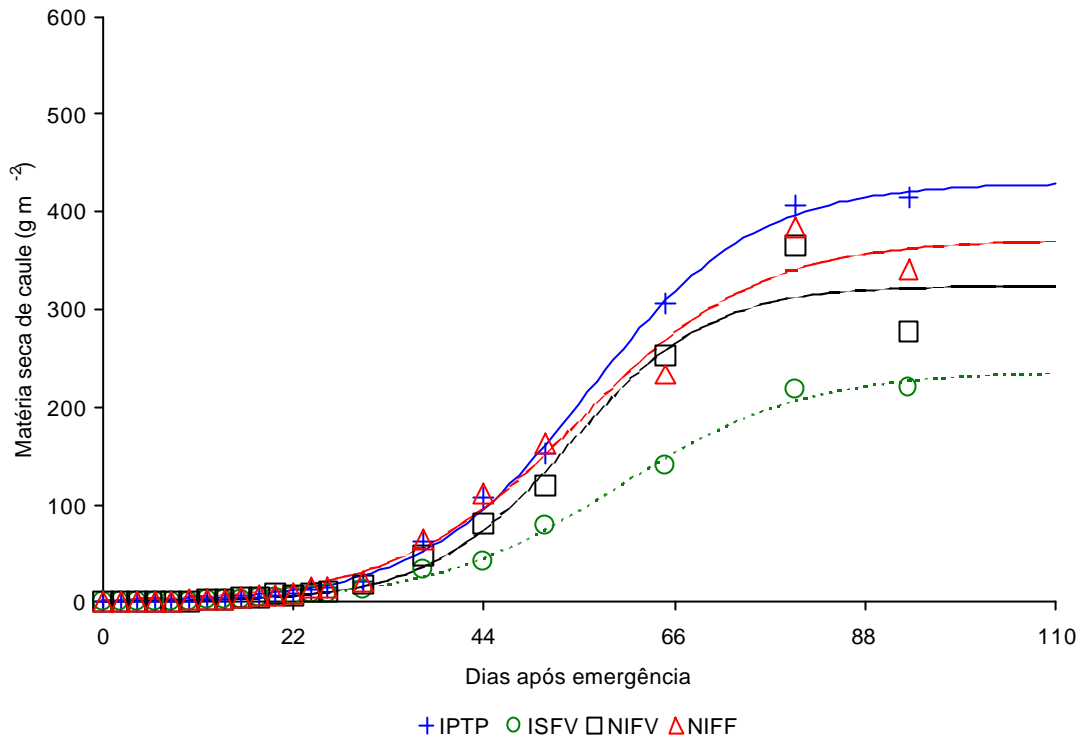


Figura 15A – Acúmulo de matéria seca do caule ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

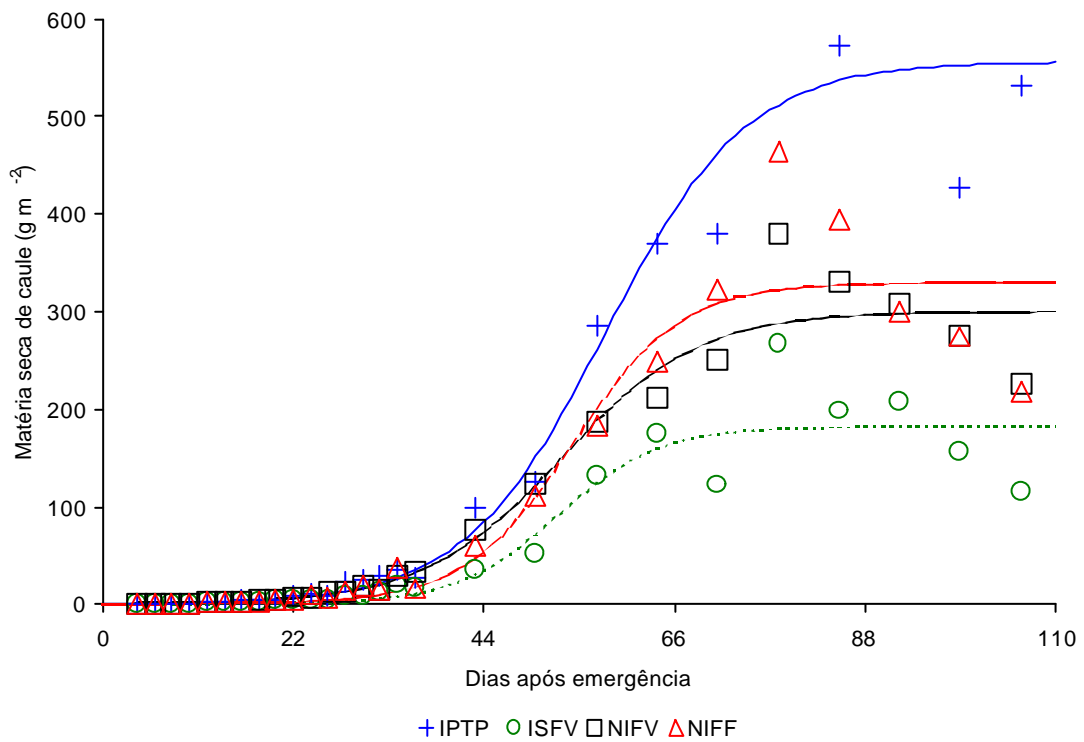


Figura 16A – Acúmulo de matéria seca do caule ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

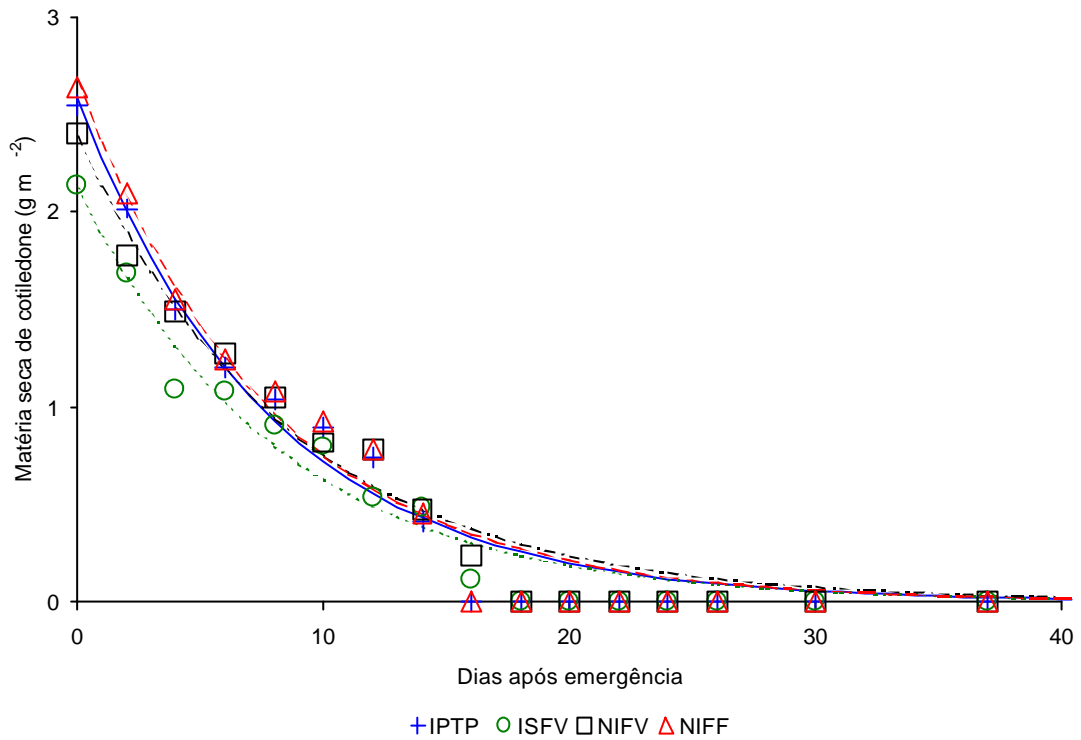


Figura 17A – Perda de matéria seca pelo cotilédone de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

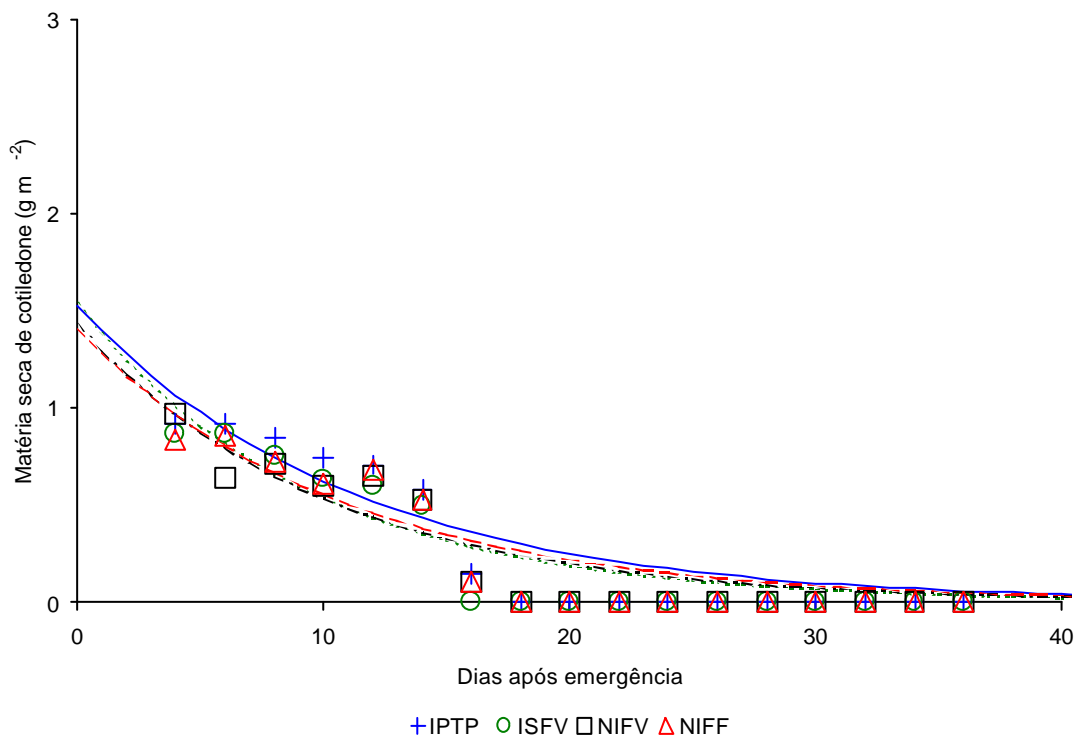


Figura 18A – Perda de matéria seca pelo cotilédone de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

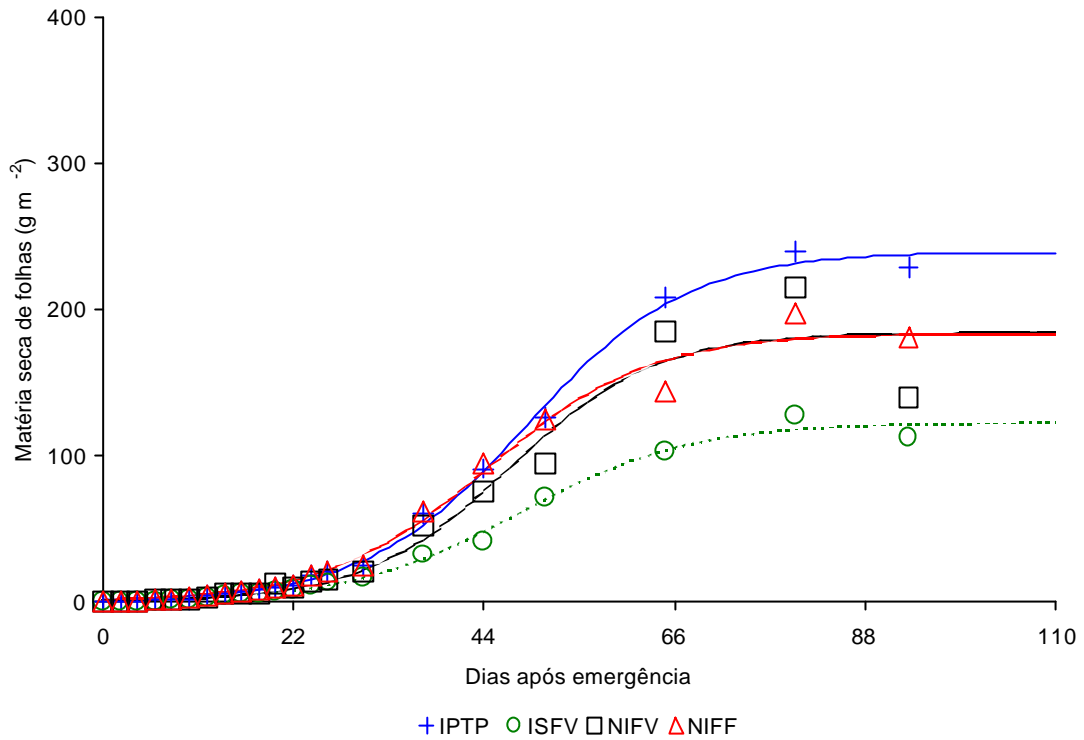


Figura 19A – Acúmulo de matéria seca das folhas ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

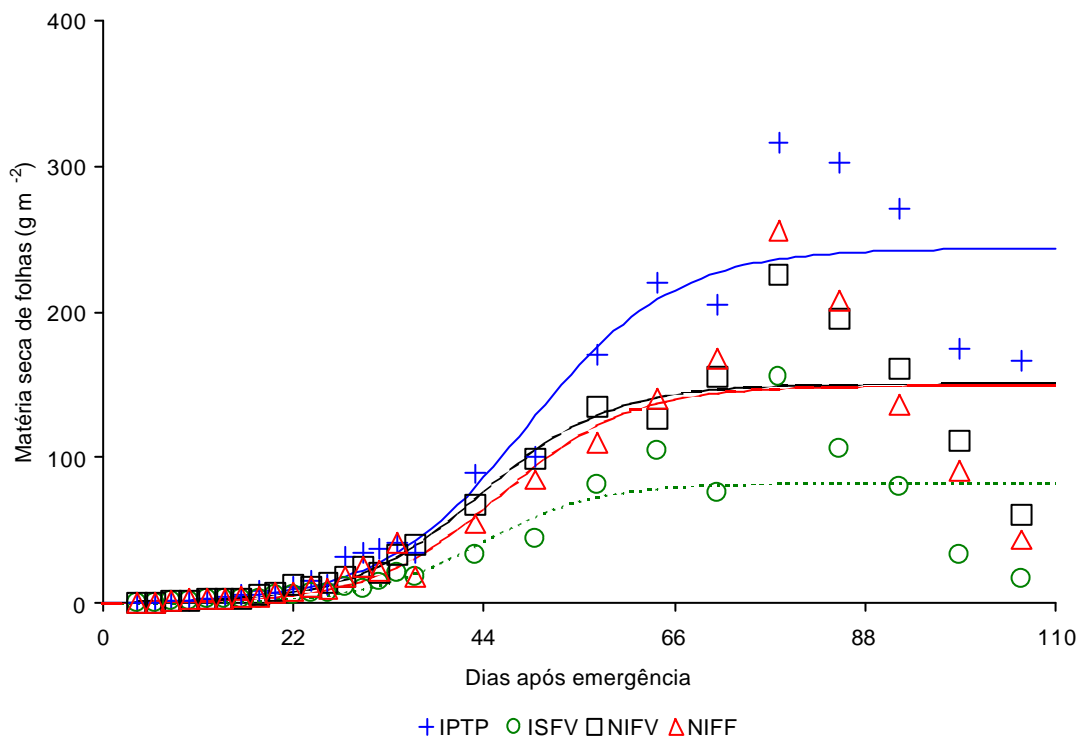


Figura 20A – Acúmulo de matéria seca das folhas ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

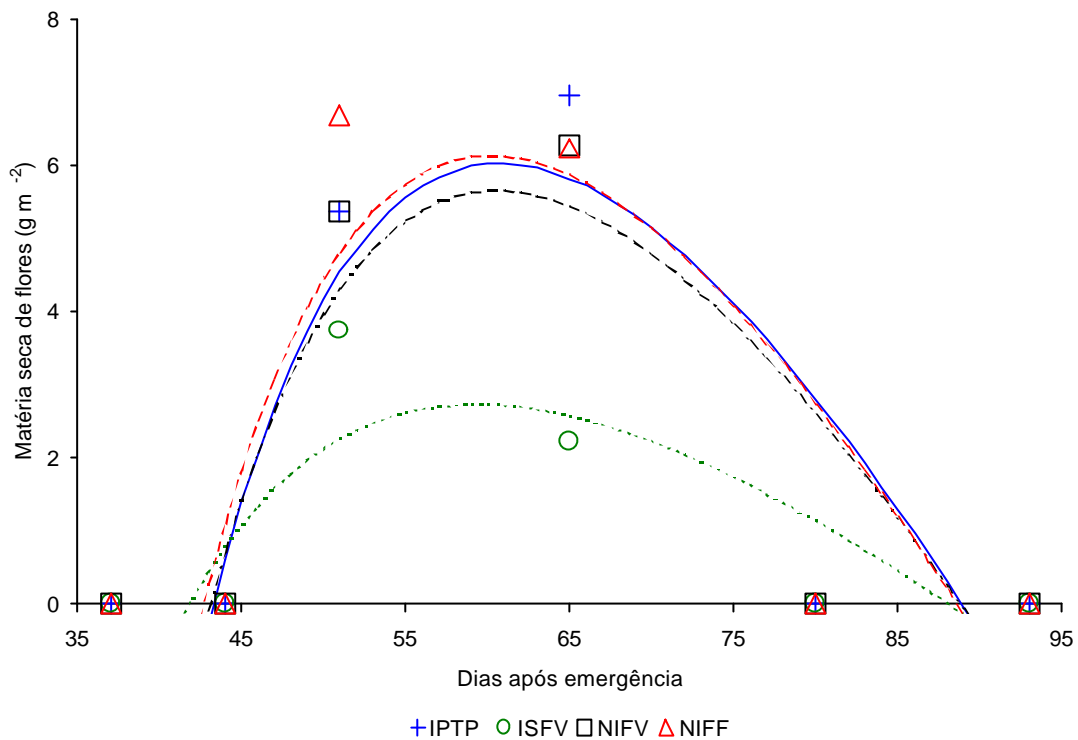


Figura 21A – Acúmulo de matéria seca das flores ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

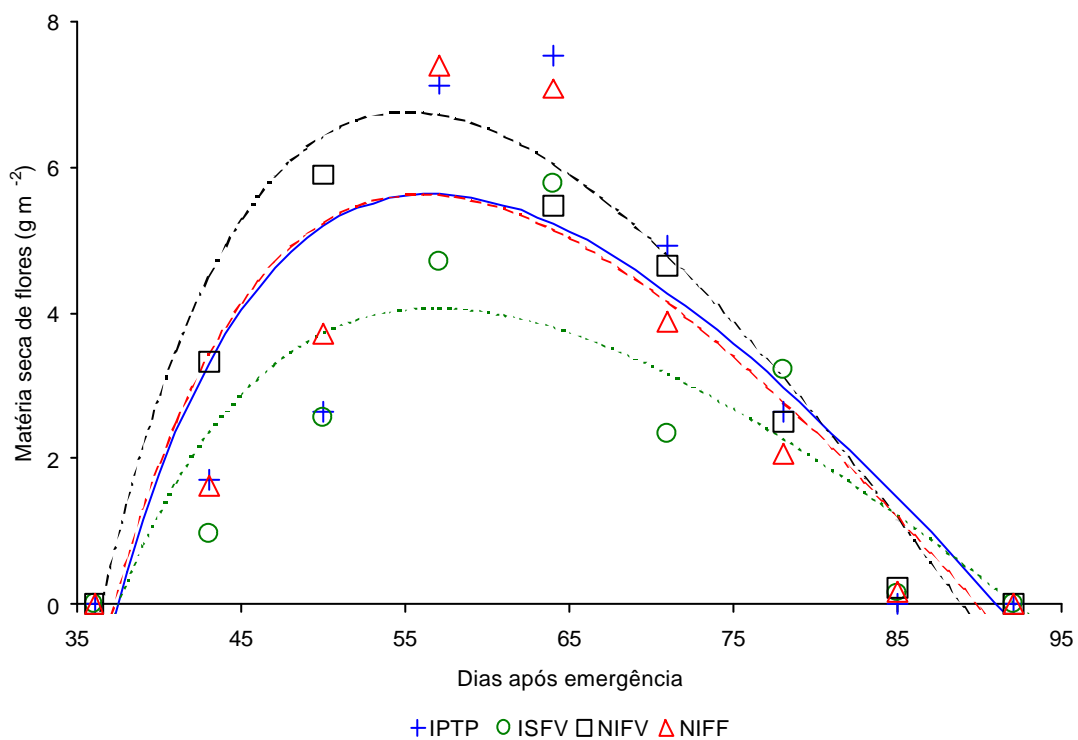


Figura 22A – Acúmulo de matéria seca das flores ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

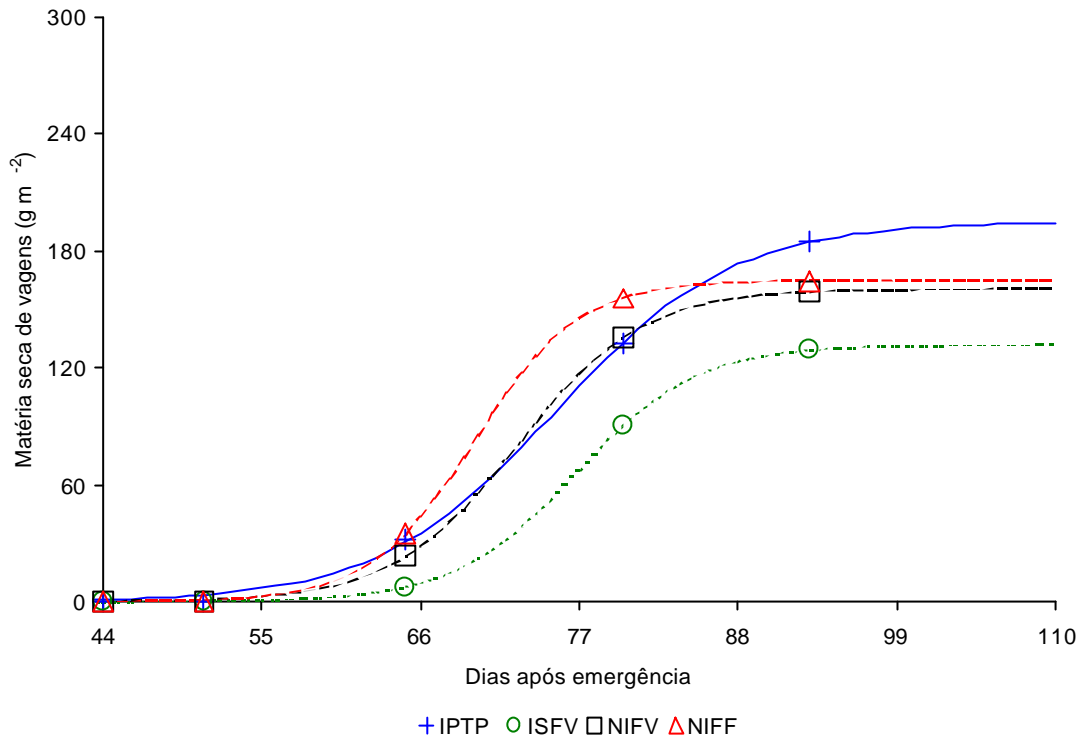


Figura 23A – Acúmulo de matéria seca das vagens ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

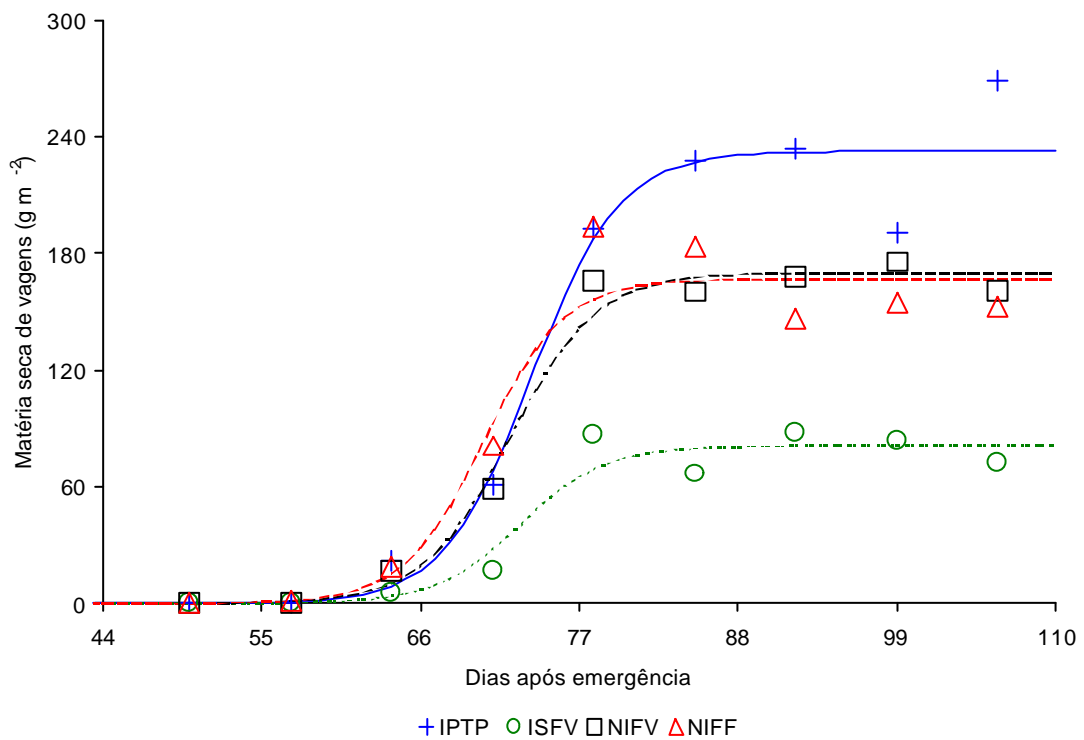


Figura 24A – Acúmulo de matéria seca das vagens ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

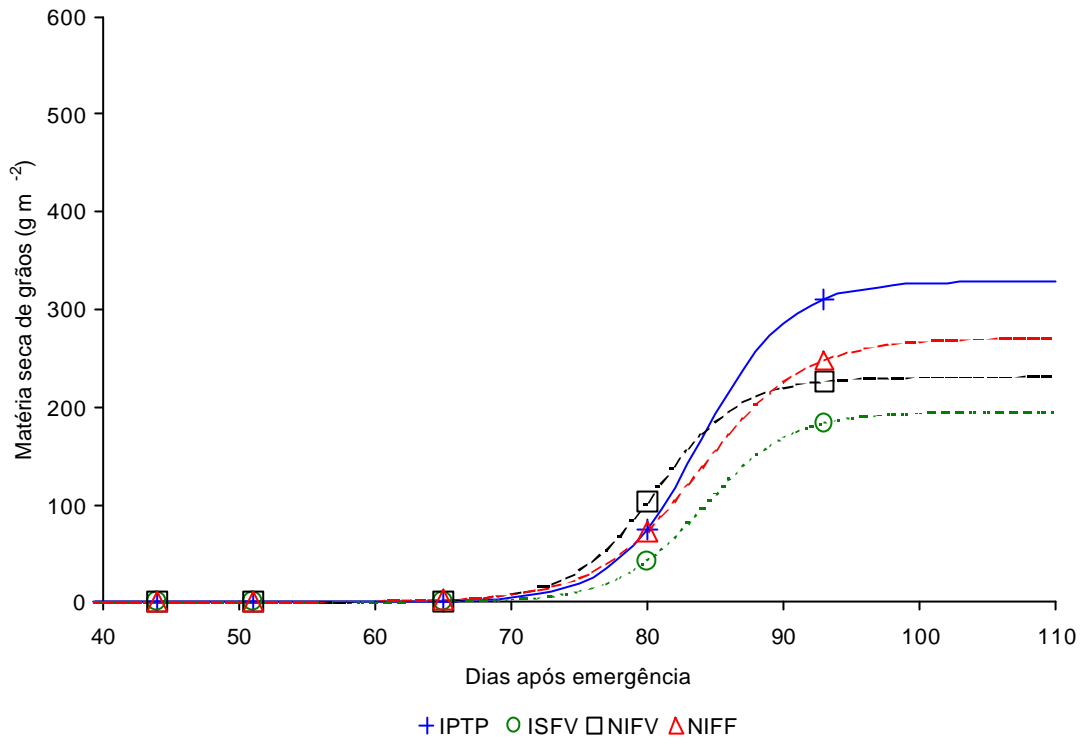


Figura 25A – Acúmulo de matéria seca dos grãos ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1997/98 em Viçosa-MG.

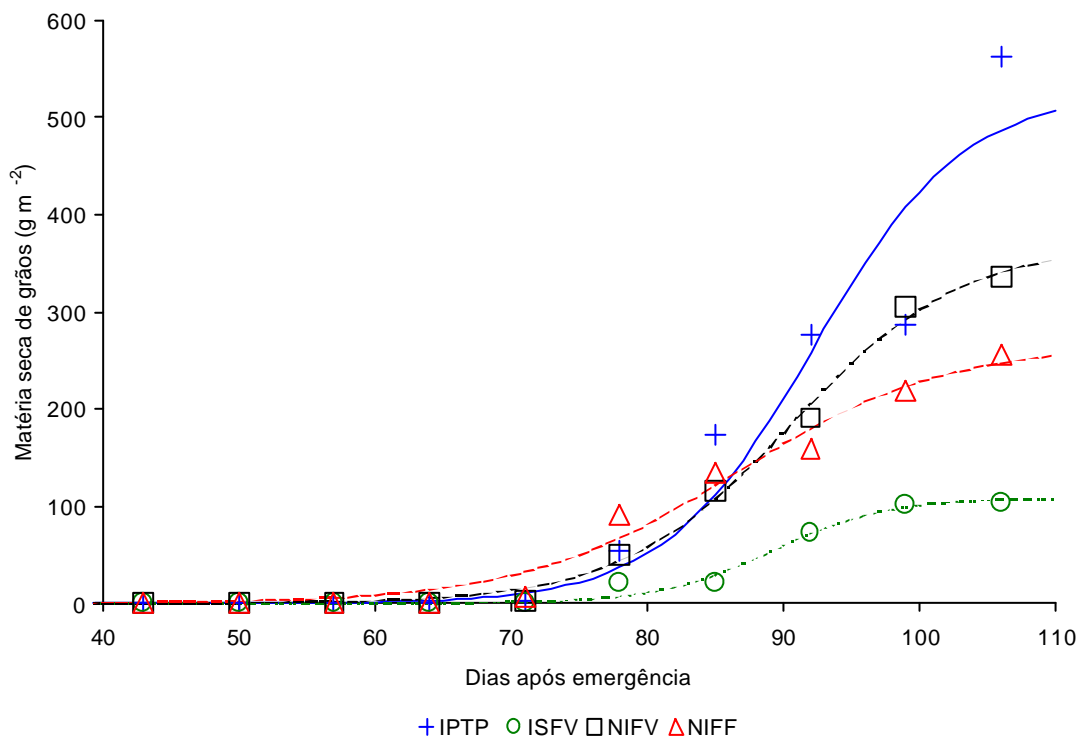


Figura 26A – Acúmulo de matéria seca dos grãos ao longo do ciclo da cultura de soja, no ensaio de 1998/99 em Viçosa-MG.

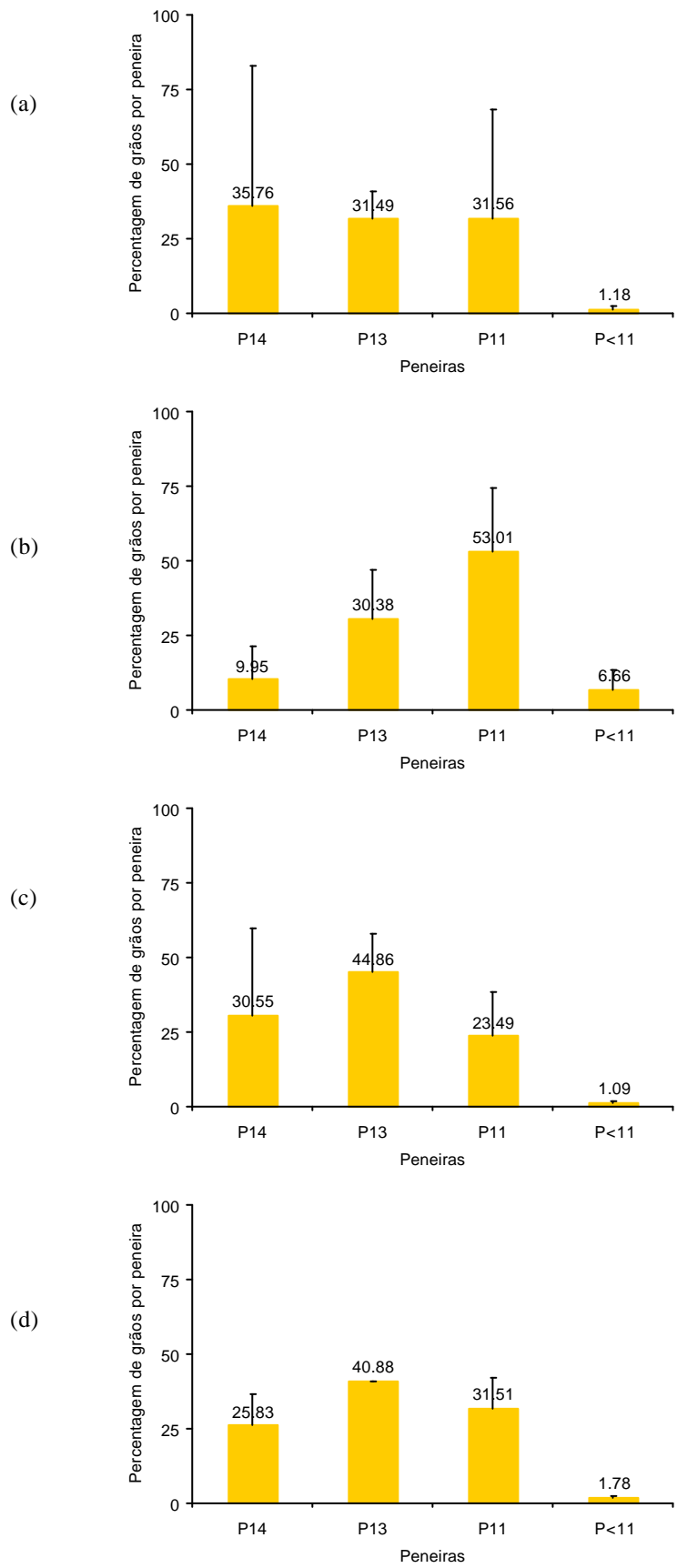


Figura 27A – Classificação dos grãos dos tratamentos IPTP (a), ISFV (b), NIFV (c) e NIFF (d) nas peneiras 14, 13, 11 e < 11.

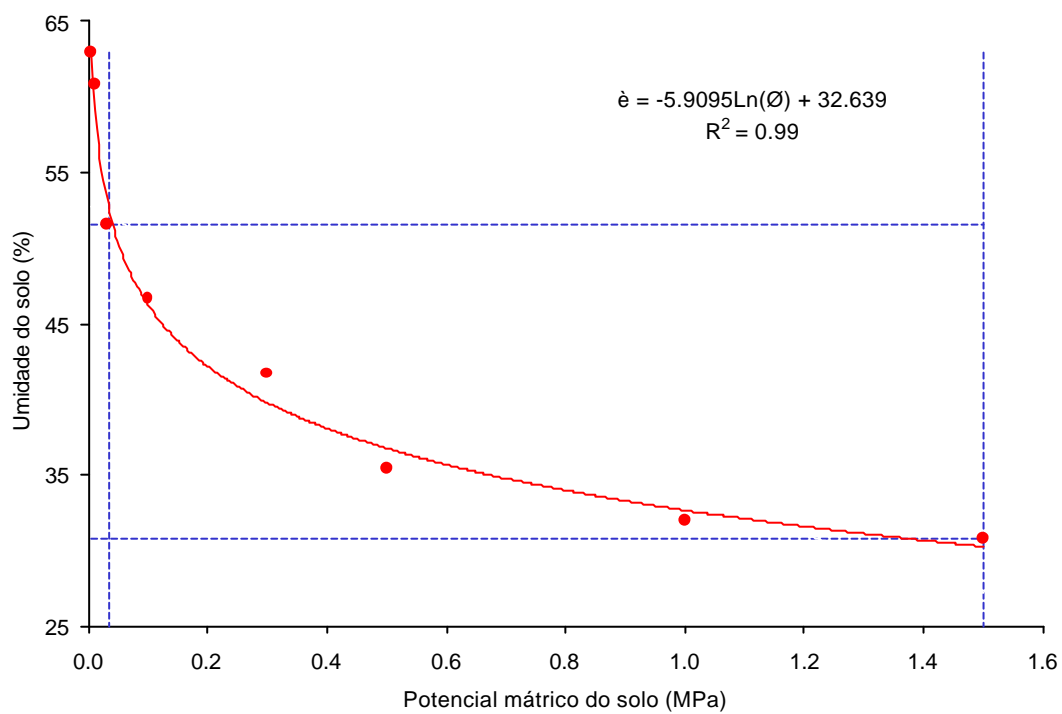


Figura 28A – Curva característica de retenção de umidade no solo do local do experimento.