

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
FACULDADE DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FITOTECNIA**

**EFICIÊNCIA DE USO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA
PELO TOMATEIRO CULTIVADO EM DIFERENTES AMBIENTES**

Bernadete Radin
Engenheira Agrônoma, Mestre (UFRGS)

Tese apresentada como um dos
requisitos à obtenção do Grau de
Doutor em Fitotecnia, opção em
Agrometeorologia

Porto Alegre (RS), Brasil
Junho de 2002

AGRADECIMENTOS

Ao professor Homero Bergamaschi, pela orientação e amizade durante o curso e elaboração deste trabalho.

Aos professores Luís Mauro G. Rosa e João Ito Bergonci, pelas sugestões e orientações na condução do trabalho e elaboração da tese.

Aos professores Moacir Antonio Berlato e Denise Cybis Fontana, pelos ensinamentos, pelo carinho e amizade durante o curso.

Aos pesquisadores da FEPAGRO Ronaldo Matzenauer, Nídio Antonio Barni e Ivo Didoné pela colaboração na condução do trabalho.

Ao colega e amigo Carlos Reisser Júnior, o meu especial agradecimento. Aos demais colegas do setor de Agrometeorologia da UFRGS o agradecimento pelo convívio e pela amizade.

Ao CNPq pelo suporte financeiro e ao Programa de Pós-Graduação em Fitotecnia, pela oportunidade do curso.

Aos meus pais Virginio e Tereza, pelo exemplo de vida e pelo apoio em todas as horas e aos meus irmãos Rosmari e André, a minha eterna gratidão e reconhecimento.

Também dedico este trabalho aos meus filhos Jéssica e Eduardo, e ao meu marido Edui.

A Deus.....

EFICIÊNCIA DE USO DA RADIAÇÃO FOTOSSINTETICAMENTE ATIVA PELO TOMATEIRO CULTIVADO EM DIFERENTES AMBIENTES¹

Autora: Bernadete Radin
Orientador: Homero Bergamaschi
Co-orientador: Luís Mauro G. Rosa

RESUMO

A produção de biomassa pelas culturas está relacionada à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) interceptada e absorvida pelas folhas, bem como à eficiência com que estas convertem a energia radiante em energia química, através da fotossíntese. Esta capacidade de conversão é considerada como sendo a eficiência de uso da RFA. Com o objetivo de avaliar a eficiência de uso da RFA do tomateiro, cultivado em diferentes ambientes, foram conduzidos experimentos em estufa plástica com tela lateral anti-insetos (CT), em estufa plástica sem tela (ST) e a céu aberto (Fora). Os trabalhos foram executados em duas épocas (primavera-verão e verão-outono), no ano agrícola de 1999/2000, no Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor - FEPAGRO, em Eldorado do Sul, RS. Foram feitas medições de matéria seca aérea e índice de área foliar (IAF) ao longo dos dois ciclos. Os fluxos de RFA incidente e transmitida foram registrados a cada 30 minutos. No conjunto de todos os dados o coeficiente de extinção da cultura foi de 0,57. A fração absorvida de RFA, em relação à RFA interceptada, foi de 0,90. O ambiente CT teve menos RFA incidente, mas proporcionou maior eficiência de uso de RFA (0,44 e 0,60 g de MS mol⁻¹ de RFA nos primeiro e segundo ciclos, respectivamente). No ambiente Fora, com mais RFA incidente, houve menor eficiência de uso da RFA (0,30 e 0,32 g mol⁻¹ de RFA nos primeiro e segundo ciclos, respectivamente), enquanto que o ambiente ST permitiu valores intermediários de eficiência de uso da RFA (0,45 e 0,53 g mol⁻¹ de RFA_{int}). A maior eficiência de uso da RFA, no interior de estufa, esteve associada ao maior IAF e à maior produção de biomassa da cultura.

¹ Tese de doutorado em Fitotecnia, área de concentração Agrometeorologia. Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, RS, Brasil (127p.) Maio de 2002.

PHOTOSYNTHETICALLY ACTIVE RADIATION USE EFFICIENCY OF TOMATO PLANTS GROWN IN DIFFERENT ENVIRONMENTS²

Author: Bernadete Radin
Adviser: Homero Bergamaschi
Coadviser: Luís Mauro G. Rosa

ABSTRACT

Crop biomass production is related to the amount of photosynthetically active radiation intercepted and absorbed by the leaves, as well as their efficiency of conversion of this radiant energy into chemical energy through photosynthesis. The capacity of the plants to convert the energy of this photosynthetically active radiation into biomass is known as the PAR use efficiency. The objective of this study was to evaluate the PAR use efficiency of tomato plants, grown in different environments. Experiments were carried out on plastic-covered greenhouses with (CT) or without (ST) anti-insects screens and at open air plots (Fora), at two different growth periods (spring-summer and summer-autumn) during the 1999/2000 season at the CPVDF – FEPAGRO (Eldorado do Sul, RS). Measurements of dry above-ground biomass and leaf area index (LAI) throughout both growth cycles were performed, and the incident and transmitted PAR fluxes were registered every 30 minutes. The extinction coefficient for the culture, using the whole data set was estimated at 0.57. The fraction of absorbed PAR in relation to the intercepted PAR fraction was 0.90. The CT greenhouse had less incident PAR, however resulted in higher PAR use efficiency (0.44 and 0.60 g DM mol⁻¹ PAR on the first and second cycles, respectively). Outside the greenhouses, there was a higher amount of incident PAR, however a lower PAR use efficiency (0.30 and 0.32 g DM mol⁻¹ for the first and second cycles, respectively), while the ST greenhouse had intermediate values (0.45 and 0.53 g DM mol⁻¹ for each cycle). The higher radiation use efficiency inside the greenhouses was associated to a higher LAI and higher crop biomass.

² Doctoral thesis in Agronomy, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brazil. (127p.) May, 2002.

SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 Radiação solar em dosséis vegetais.....	4
2.2 Eficiência de absorção e interceptação da radiação fotossinteticamente ativa	10
2.3 Acúmulo e repartição de biomassa.....	13
2.4 Fotossíntese relacionada à disponibilidade de radiação solar.....	17
2.5 Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa.....	23
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	29
3.1 Localização e clima.....	29
3.2 Semeadura.....	30
3.3 Adubação, transplante e controle fitossanitário.....	30
3.4 Características e manejo da estufa.....	32
3.5 Arranjo experimental.....	32
3.6 Sistema de irrigação.....	34
3.7 Sistema de condução.....	34
3.8 Determinações.....	35
3.8.1 Potencial da água no solo.....	35
3.8.2 Elementos micrometeorológicos.....	36
3.8.2.1 Temperatura do ar.....	36
3.8.2.2 Radiação global (R_g) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA).....	37
3.8.2.3 Umidade relativa (UR) do ar e umidade absoluta (UA).....	39
3.8.3 Análise de crescimento.....	40
3.8.3.1 Índice de área foliar (IAF).....	41
3.8.3.2 Acúmulo e repartição da matéria seca.....	42
3.8.3.3 Percentagem de matéria seca em frutos.....	42
3.8.4 Radiação absorvida e interceptada.....	43
3.8.5 Eficiência de interceptação (ϵ_{int}) e coeficiente de extinção (k).....	44
3.8.6 Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa.....	45
3.8.7 Fotossíntese das folhas de tomateiro.....	45

	Página
3.9 Análise estatística	46
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	47
4.1 Radiação solar, temperatura e umidade do ar durante o período experimental.....	47
4.2 Índice de área foliar (IAF) e área foliar específica (AFE).....	60
4.3 Eficiência de interceptação (ϵ_{int}) de RFA e coeficiente de extinção (k).....	66
4.4 Acúmulo e repartição de biomassa.....	77
4.5 Taxa fotossintética.....	85
4.6 Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa.....	92
5. CONCLUSÕES.....	100
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	102
7. APÊNDICES.....	112

LISTA DE TABELAS

	Página
1. Radiação solar global média (Rg) e radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) média nos ambientes com tela (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (Fora), nos primeiro e segundo ciclos do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul /RS, 1999/2000.....	49

LISTA DE FIGURAS

	Página
1. Componentes do balanço de radiação solar em um dossel vegetal. Adaptado de Varlet-Grancher et al. (1989).....	8
2. Representação do experimento, no campo, e disposição das parcelas nos três ambientes com tela (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	33
3. Radiação solar global incidente (R_g) (A) e radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) (B) na parte externa à estufa, durante duas épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS. 1999/2000.....	48
4. Temperatura média diurna do ar observada dentro da estufa com tela (CT), da estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE), durante duas épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	51
5. Umidade relativa média diária do ar observada dentro da estufa com tela (CT), da estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE), durante duas épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	53
6. Médias diárias de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA_a) e radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) durante a segunda época do tomateiro (A) e relação entre RFA_a e RFA_{int} (B), no ambiente de estufa com tela (CT). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	55
7. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) durante as primeira e segunda épocas do tomateiro, dentro de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	58

	Página
8. Índice de área foliar (IAF) durante duas épocas de cultivo do tomateiro, em estufa com tela (CT), em estufa sem tela (ST) e em ambiente externo a estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	61
9. Área foliar específica (AFE) do tomateiro em função de dias após o transplante (DAT), em ambiente de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo a estufa (FE) em duas épocas de cultivo. CPVDF/FEPAGRO, Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	63
10. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pela cultura do tomateiro em função de dias após o transplante (DAT), durante as primeira e segunda épocas, no interior da estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e na parte externa da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	67
11. Eficiência de interceptação da radiação da radiação fotossinteticamente ativa nas primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo do tomateiro, em função de dias após o transplante (DAT), nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e na parte externa a estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	68
12. Relação entre $\ln(1 - \epsilon_{int})$ e o índice de área foliar (IAF) em duas épocas (1 e 2) de cultivo do tomateiro, em ambiente de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e na parte externa à estufa (FE), sendo ϵ_{int} a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	71
13. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (ϵ_{int}) observada em tomateiro em função do índice de área foliar (IAF), com dados das primeira e segunda épocas, em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	75
14. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (ϵ_{int}) em tomateiro para todo o conjunto de dados das duas épocas em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo (FE) em função do índice de área foliar (IAF). CPVDF/FEPAGRO, Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	76

	Página
15. Massa de matéria seca (MS) acumulada na parte aérea de plantas do tomateiro em função de dias após o transplante (DAT) em duas épocas de cultivo, em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo a estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul, 1999/2000.....	78
16. Repartição da matéria seca em plantas de tomateiro durante a primeira época, em função de dias após o transplante (DAT) nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	80
17. Repartição da matéria seca em plantas de tomateiro durante a segunda época, em função de dias após o transplante (DAT) nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	82
18. Relação entre massa de matéria seca dos frutos e massa de matéria seca total e fração do total de matéria seca distribuída para os frutos do tomateiro, na primeira época A e B, e na segunda época C e D, respectivamente, em função de dias após o transplante em ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	84
19. Taxa fotossintética em tomateiro cultivado fora de estufa (FE), em estufa com tela (CT) e em estufa sem tela (ST), média de três repetições, com respectivo desvio padrão, indicado pela extremidade da linha vertical. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	86
20. Fotossíntese total por planta em tomateiro cultivado fora de estufa (FE), em estufa com tela (CT) e em estufa sem tela (ST), média de três repetições, com respectivo desvio padrão, indicando pela extremidade da linha vertical e índice de área foliar (IAF) de cada tratamento. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	91
21. Massa de matéria seca acumulada na parte aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFA_{int}) durante a primeira época de cultivo do tomateiro, nos ambientes em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	92

	Página
22. Massa de matéria seca acumulada na parte aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFA_{int}) durante a segunda época de cultivo do tomateiro, nos ambientes em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.....	93

INTRODUÇÃO GERAL

A agricultura vem passando por uma série de transformações, fazendo com que a atividade seja cada vez mais competitiva, e exigindo do produtor maior nível de especialização, capacidade de gerenciamento e profissionalismo. Os produtores terão que ser, além de administradores, produtores – pesquisadores das suas áreas, atuando diretamente na coleta de informações, interagindo com tecnologias novas e tomando decisões eficazes de manejo. A dificuldade de se obter lucro com esta atividade tem aumentado e, quando isto ocorre, a percentagem é bastante reduzida. Portanto, atualmente, a utilização dos recursos disponíveis de forma eficiente é indispensável para o sucesso na agricultura.

Na busca por estes objetivos, é fundamental que, tanto a pesquisa como o manejo das culturas produtoras de grãos nas lavouras comerciais, passem a conferir maior importância à “variabilidade” presente nas áreas agrícolas. Esta variabilidade pode ser de ordem “espacial”, “temporal” e “induzida pelo manejo”, estando presente em inúmeros fatores de produção que interagem em uma área cultivada.

Esta variabilidade é um dos fatores que contribuem para que o rendimento médio da cultura da soja no estado do Rio Grande do Sul seja baixo, com valor recorde de 2339 kg/ha na safra 2000/01 (Reunião..., 2001). Quando se compara este rendimento com os obtidos em experimentos conduzidos em condições controladas e, portanto, com menor variabilidade que, por exemplo, podem ser de 3203 kg/ha (média, na estação de crescimento de 1997/98, em experimentos de cultivares indicadas para o Rio Grande do

Sul, realizados em 10 locais, Bonato & Bertagnolli, 1998) ou chegar a valores superiores a 6000 kg/ha, em algumas cultivares (Costa et al., 1998; Pires et al., 1998b); verifica-se que existe potencial genético para aumentar o rendimento e que há necessidade da busca pela uniformidade nas lavouras.

Outro exemplo real das potencialidades advindas da consideração e manejo apropriado da variabilidade, é proveniente da cultura do milho. O rendimento máximo de grãos de milho que tem sido obtido nos Estados Unidos da América é de 23203 kg/ha, sendo 35% deste rendimento (8121 kg/ha), próximo da média nacional. Um produtor pode ter grande eficiência produtiva e ainda obter somente 35% do rendimento possível, sendo que, quanto o rendimento do produtor irá se aproximar dos records, está na dependência da correção adequada dos fatores limitantes, em conjunto com princípios e realidade econômica e ambiental (Wallace, 1993). Isto demonstra a grande defasagem entre o que é biologicamente possível e o que é realmente obtido pelos produtores.

Portanto, a adoção de práticas de manejo com maior precisão, levando em consideração a variabilidade, podem trazer benefícios às culturas, principalmente pela possibilidade de maior expressão deste potencial genético, não somente em determinadas áreas da lavoura com condições mais favoráveis, mas sim em toda a área cultivada.

O que se busca dentro de uma lavoura de soja é a maior uniformidade possível dos indivíduos, fazendo com que todos contribuam da mesma forma para o rendimento de grãos (variabilidade mínima). No entanto, a variabilidade espacial e temporal nas lavouras produtoras de grãos restringe a obtenção de produções uniformes e elevadas por planta em toda área e com isso, aumentos no rendimento de grãos.

Para minimizar a variabilidade é necessário, primeiramente, que se conheça sua magnitude, identificando-a e quantificando-a, por meio de parâmetros de solo e de

planta, mapeando “áreas problemas” (com níveis abaixo dos considerados adequados) e posteriormente testando práticas de manejo capazes de corrigi-las ou minimizá-las. Estas práticas devem permitir que as plantas expressem o máximo possível do seu rendimento potencial, contribuindo da mesma forma para o rendimento de grãos da comunidade.

Na tentativa de manejar as áreas agrícolas, levando em consideração a variabilidade, tem havido o crescimento mundial de uma filosofia nova de manejo das áreas agrícolas chamada “Agricultura de Precisão” ou “Precisão na Agricultura”. Seus princípios são conhecidos a bastante tempo, desde que pesquisadores americanos observaram que resultados melhores nos processos de correção do solo eram obtidos com a aplicação localizada de calcário, fazendo-se análise do solo e determinando-se a dose para cada área e não com a aplicação de uma dose única em toda a área cultivada. Entretanto, a agricultura de precisão ganhou impulso somente com o fim da “guerra-fria”, na década de 80 e 90, quando os Estados Unidos da América, colocaram a disposição da atividade agrícola, satélites para serem usados como ferramenta no mapeamento das áreas, identificando a variabilidade, fazendo o monitoramento de máquinas e implementos, bem como, orientando práticas de manejo.

A partir daí, verificou-se grandes avanços no que se refere a área tecnológica, com desenvolvimento de sistemas como o GPS (sistema de posicionamento global), e o GIS (sistema de informações geográficas), da “eletrônica embarcada”, e de técnicas de geoestatística; que tornaram possível a coleta e manejo de dados sobre os mais diversos fatores que interagem em uma área cultivada (fertilidade do solo, disponibilidade hídrica, matéria orgânica, cobertura do solo, rendimento de grãos, entre outros). Pouca atenção, no entanto, tem sido destinada a interpretação desses dados e sua utilização para direcionar a tomada de decisões em lavouras. Também, são raros os estudos enfocando as comunidades vegetais que integram o sistema.

Uma vez que os experimentos normalmente realizados pela pesquisa são feitos em áreas pequenas, e/ou em condições controladas (isolando fatores), muitas vezes não representam adequadamente a variabilidade existente em condições de lavoura. Torna-se, então, necessário o desenvolvimento de metodologias de análise e amostragens em lavouras a fim de identificar diferenças no crescimento, que sejam de execução fácil e que tenham precisão alta. Para tanto, é indispensável que se determine entre outras coisas, as características morfofisiológicas da planta de interesse a serem analisadas, o potencial de rendimento da área e o tamanho e forma de amostragem.

Neste sentido, o método de “Mapeamento de Plantas em Soja”, proposto por Costa (1993), é uma ferramenta importante para pesquisadores e produtores, pois enfoca a planta como indicadora da variabilidade, de seu estado de crescimento e potencial de rendimento. O método fornece informações que permitem opções de manejo para a obtenção de rendimentos elevados, por meio da tomada de decisões que irão influenciar o rendimento atual da lavoura, como: irrigação e controle de insetos; bem como aquelas que vão determinar o desempenho futuro da área, como a análise do solo, exame das raízes, verificação de camada compactada, avaliação da nodulação, análise foliar, e estimativa do rendimento.

Com base nesta nova filosofia, com acompanhamento intenso da cultura durante todo o ciclo, metodologias capazes de fornecer padrões de comportamento e variabilidade do potencial de rendimento, entre e dentro de cultivares de soja, tornam-se necessários. Isto pode ser caracterizado em diversos estádios de desenvolvimento críticos da cultura e, preferencialmente, o mais cedo possível durante a ontogenia a fim de estabelecer parâmetros (metas) de crescimento ou de atividade reprodutiva característica de cultivares ou áreas de maior potencial de rendimento.

Tais características poderiam ser utilizadas na comparação de lavouras ou áreas dentro de lavouras a fim de estabelecer situações de maior potencial de rendimento, que

teriam prioridade na aplicação de práticas de manejo capazes de manter o potencial em níveis elevados, em comparação com outras áreas de menor potencial, conseqüentemente, com maior eficiência no uso dos recursos financeiros.

Este enfoque do manejo das culturas pode influenciar, também, a criação ou aperfeiçoamento de práticas de manejo que possam ser empregadas durante o ciclo da cultura, a fim de garantir ou modificar o potencial de rendimento durante a ontogenia.

Dentro deste contexto, o presente trabalho foi elaborado com o objetivo de testar a seguinte hipótese: uma lavoura de soja esta sujeita a variabilidade dos fatores de produção, que interagem e determinam o seu potencial de rendimento. A variabilidade das plantas durante a ontogenia, associada a utilização de técnicas de geoestatística, permitem caracterizar a variabilidade espacial e temporal da área de cultivo. Se o comportamento dos genótipos pode ser caracterizado por um determinado padrão e se o mesmo tem relação com o rendimento na colheita, seria possível adotar práticas de manejo, durante o ano de cultivo ou nos próximos, que poderiam resultar na modificação do potencial de rendimento da lavoura.

Portanto, este trabalho foi estruturado a fim de focar, inicialmente, a variabilidade do potencial de rendimento de cultivares de soja durante a ontogenia (Capítulo I). Posteriormente, serão enfocados fatores relacionados ao uso de metodologias para determinação do potencial de rendimento da soja durante o ciclo, e sua possível adaptação para utilização na agricultura de precisão (Capítulo II). Finalmente, será demonstrado o emprego da geoestatística no estudo da variabilidade espacial e temporal em comunidades de plantas de soja, avaliando características relacionadas ao rendimento de grãos e seus componentes (Capítulo III e IV).

Os objetivos do presente trabalho foram de estudar metodologias para a determinação do potencial de rendimento da soja durante a ontogenia e, também, de avaliar a variabilidade existente em comunidades de soja, por técnicas de geoestatística.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Radiação solar em dosséis vegetais

A radiação global representa a soma da radiação direta com a radiação difusa, e compreende os comprimentos de onda de 300 a 3000 nm. Antes de interagir com a atmosfera, a radiação solar (ondas curtas) compõe-se de aproximadamente 9% da radiação ultravioleta (UV), 40% da radiação visível e 51% de radiação na faixa do infravermelho próximo (IVP) (Rosenberg, 1974). Ao atravessar a atmosfera, a composição da radiação solar muda consideravelmente. A fração UV é quase totalmente absorvida pelo ozônio. A fração IVP também sofre absorção significativa pelos constituintes atmosféricos, principalmente pelo vapor d'água e dióxido de carbono e a fração da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), que compreende a faixa dos 400 aos 700nm, é a que menos sofre influência, sendo menos absorvida pela atmosfera (Pereira, 1996). Portanto, é de se esperar que a composição da radiação solar que incide sobre o solo varie tanto ao longo do dia como de um dia para o outro.

A produção final de matéria seca de uma planta depende da quantidade de radiação solar absorvida pelas folhas e da eficiência com que essas convertem a energia radiante em energia química, através da

fotossíntese. Contudo, somente uma fração do espectro solar é utilizada pelas plantas para este processo de conversão. As clorofilas e os carotenóides apresentam picos de absorção de radiação nas faixas do azul (aproximadamente 450nm) e do vermelho (650nm) (solvente éter etílico) (Salisbury & Ross, 1994). Estas faixas de comprimento de onda estão contidas em uma fração da radiação global denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA), genericamente considerada como o fluxo de fótons entre 400 e 700nm do espectro solar (McCree, 1972). Nesta porção do espectro ocorre excitação das moléculas de clorofila, dando início ao fluxo de energia necessário para a fotossíntese, sendo, por isso, denominada radiação fotossinteticamente ativa (RFA).

No caso de estufas de polietileno, a radiação solar é um dos principais elementos meteorológicos alterados (Farias et al., 1993). O material plástico mais empregado em coberturas de estufas, em nível mundial, é o polietileno transparente de baixa densidade (PEBD). Este material apresenta alta transmissividade à radiação solar, deixando passar 65 a 90% da radiação de ondas curtas incidente, com média de 83%. Porém, também apresenta elevada transmissividade à radiação de ondas longas, permitindo a passagem de até 80% desta (Farias et al., 1993).

A densidade de fluxo da radiação solar (ondas curtas) incidente no interior das estufas plásticas é inferior aos valores obtidos externamente, devido à reflexão e à absorção pelo material da cobertura (Kurata, 1990; Farias et al., 1993; Camacho et al., 1995). A transmissividade do material de cobertura à radiação solar depende de sua composição química, espessura, tempo de

uso, deposição de poeiras, ângulo de incidência dos raios solares, orientação e arquitetura da estufa, condições atmosféricas no momento das determinações e condensação de água na face interna do plástico (Alpi & Tognoni, 1978).

Camacho et al. (1995) obtiveram, em período quente (novembro), valores de transmissividade ligeiramente superiores aos observados no período frio (maio), em trabalho conduzido a $31^{\circ}52'32''\text{S}$ e a $52^{\circ}21'24''\text{W}$. Durante o inverno a maior inclinação dos raios solares e a ocorrência mais prolongada de camada de água condensada na cobertura aumentam a refletividade do plástico. Ao longo do dia, a transmissividade da cobertura plástica à radiação solar é maior nas horas mais próximas ao meio-dia, quando o ângulo zenital dos raios solares é menor (Buriol et al., 1995; Camacho et al., 1995).

Embora haja redução do fluxo de radiação solar global na parte interna das estufas, Farias et al. (1993) relataram que a radiação difusa é aumentada. Para as condições de Pelotas, RS, esses autores observaram que a radiação difusa externa equivale, em média, a 65% daquela observada internamente, na maior parte do período observado (novembro). Foi verificado que 45% da radiação solar global observada internamente correspondia à radiação difusa, ao passo que somente 24% da radiação global externa perfaziam a radiação difusa. Também Warren Wilson et al. (1992) concluíram que a cobertura da estufa provoca espalhamento da radiação solar no seu interior, aumentando a porção da radiação refletida e a difusa.

O aumento do fluxo de radiação difusa pode ser vantajoso e tornar-se mais efetivo para a fotossíntese. Sendo multi-direcional, a radiação difusa penetra melhor no dossel vegetal, o que pode compensar, em parte, a parcial

opacidade do filme plástico à radiação solar. Assim, as folhas do interior do dossel vegetal recebem mais radiação solar no ambiente de estufa, com menor auto-sombreamento, se comparadas com a parte externa da mesma (Aikman, 1989; Warren Wilson et al., 1992).

A radiação solar é especialmente importante no cultivo em ambientes protegidos, já que a quantidade de energia incidente é reduzida em cerca de 30% pela cobertura plástica, o que pode limitar a taxa fotossintética das culturas. Além disso, enquanto outros fatores como temperatura, concentração de CO₂, nutrientes minerais e água, podem ser suplementados e mantidos em níveis adequados, a adição de luz em estufas não é economicamente viável (Warren Wilson et al., 1992).

Trabalhos de Boivin et al. (1987) e Cockshull, (1988) demonstraram que o rendimento do tomateiro aumenta significativamente em estufas em resposta à suplementação de radiação solar, quando esta é limitante, e que uma redução da mesma conduz a uma diminuição linear na produção.

O limite inferior mínimo de radiação global durante a floração do tomateiro é relativamente baixo, da ordem de 8,4 MJ m⁻² dia⁻¹, considerado como o nível em que a cultura produz o mínimo de fotoassimilados necessário à manutenção da cultura. Abaixo deste limite a planta não sobrevive e, acima, o acúmulo de matéria seca se torna possível (FAO, 1990).

A cobertura vegetal não absorve toda a radiação solar que recebe, pois uma parte é refletida para a atmosfera e outra parte é transmitida ao solo. A superfície do solo, por sua vez, devolve parte da radiação para a vegetação, como mostra a Figura 1.

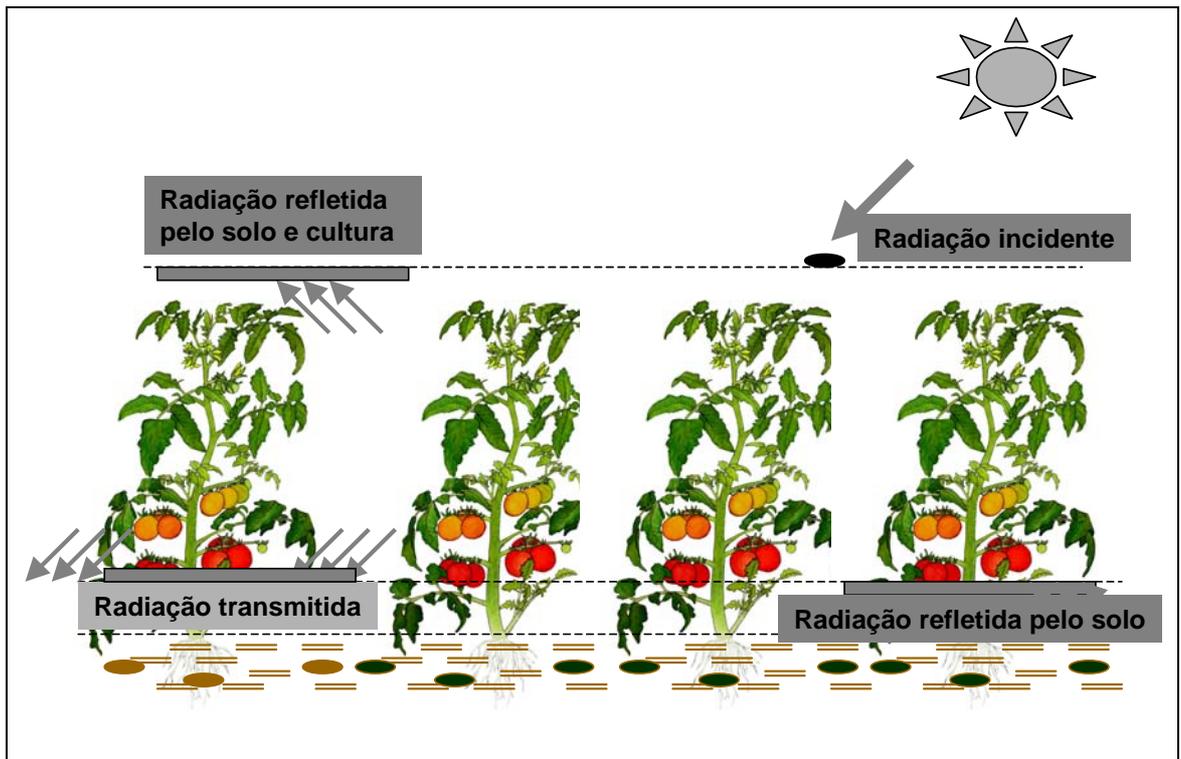


FIGURA 1: Componentes do balanço de radiação solar em um dossel vegetal. Adaptado de Varlet-Grancher et al. (1989).

Todos os componentes do balanço de radiação podem ser medidos ou estimados sobre um plano horizontal. A radiação interceptada compreende a diferença entre os fluxos de radiação incidente ($R_{g_{inc}}$) e de radiação transmitida ao solo ($R_{g_{ts}}$). Por sua vez a radiação absorvida pela vegetação (R_{g_a}) é determinada por um balanço entre a radiação recebida (incidente $R_{g_{inc}}$ e refletida pelo solo $R_{g_{rs}}$) e a radiação perdida (refletida pelo solo e cultura $R_{g_{rsc}}$ e transmitida ao solo $R_{g_{ts}}$).

Gallo & Daughtry (1986) observaram que as diferenças entre a RFA interceptada e a RFA absorvida foram menores do que 3,5%, da semeadura até imediatamente antes da maturação fisiológica do milho. Sendo assim, a RFA interceptada é uma razoável aproximação da RFA absorvida, especialmente para dosséis que cobrem completamente o solo.

Plantas com índice de área foliar (IAF) próximo a um, podem interceptar quase toda a radiação direta, se o sol estiver perpendicular à superfície. Entretanto, isso irá depender também da inclinação das folhas, pois quanto mais verticais elas forem menor será o auto-sombreamento, permitindo, com isso, maior penetração da radiação para o interior do dossel. Neste tipo de folhas, mais eretas, a taxa fotossintética dos níveis inferiores do dossel pode não decrescer, já que a radiação pode incidir sobre todas as folhas do dossel. Em culturas com folhas predominantemente horizontais, a parte superior do dossel recebe mais radiação do que pode usar para a realização da fotossíntese. Assim, pode ocorrer saturação pela radiação recebida, enquanto as folhas inferiores podem não receber radiação solar suficiente para que

tenham fotossíntese líquida maior do que zero, pois a disponibilidade de radiação estará abaixo do ponto de compensação (Brown, 1984).

A radiação muda sua composição espectral quando interage com a cultura, devido à seletividade de absorção da radiação fotossinteticamente ativa pelas folhas. A transmitância da radiação fotossinteticamente ativa (400 a 700nm) é menor do que 10%, enquanto que a transmitância da fração do infravermelho distante é maior. Como resultado, a razão entre os fluxos nas faixas do vermelho e do vermelho distante é menor na parte inferior do dossel (Lambers et al., 1998).

2.2 Eficiência de absorção e intercepção da radiação fotossinteticamente ativa

A eficiência de intercepção e de absorção de um dossel vegetal corresponde à capacidade que uma população de plantas tem de interceptar e absorver a radiação solar que incide sobre a mesma. A maior ou menor eficiência depende da quantidade de radiação incidente, da distribuição da área foliar no tempo (durante o ciclo) e no espaço, das propriedades óticas do dossel (reflexão, transmissão e absorção) e do ângulo das folhas em relação a linha horizontal. Quanto menor for o ângulo foliar, formado pela folha com relação à linha horizontal, maior é o auto-sombreamento e, portanto, menor será a penetração da radiação no dossel (Acock et al., 1978; Gallagher & Biscoe, 1978).

A geometria da cultura também afeta a eficiência de intercepção devido ao arranjo das linhas e a densidade de plantas (Warren Wilson et al.,

1992). Segundo Papadopoulos & Pararajasingham (1997), o efeito do arranjo das linhas varia com o período do dia, estação do ano e latitude. Em latitude de 34° N eles demonstraram que no arranjo em que a orientação das linhas é norte-sul, a radiação é mais interceptada do que com orientação leste-oeste em várias culturas, como tomate, pepino e pimentão.

As características da radiação solar incidente também afetam a eficiência de interceptação e de absorção. Estas características são afetadas pela nebulosidade e posição do sol. No caso de estufas, a cobertura e a estrutura das mesmas reduzem a disponibilidade de radiação incidente para o interior da estufa e provocam maior espalhamento da mesma.

Como o cultivo do tomateiro é feito em linhas, duas características contrastam com àquelas culturas que têm distribuição uniforme e que, freqüentemente, são consideradas em estudos de interceptação de radiação solar e fotossíntese da cultura. Primeiramente, a extensão horizontal é finita e, com isto, as faces laterais do dossel da cultura, nas margens da estufa, recebem mais radiação solar do que a parte central. Em segundo lugar, a cultura não é uniforme horizontalmente, mas disposta em linhas, o que permite maior penetração de radiação para o interior do dossel (Warren Wilson et al., 1992).

Estudando o efeito do espaçamento, Papadopoulos & Pararajasingha (1997) concluíram que o maior rendimento de frutos foi possível em espaçamentos menores, quando comparado com maiores espaçamentos entre as plantas do tomateiro dentro da estufa. Isto se deveu ao aumento da interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. Os autores concluíram que,

os principais fatores responsáveis pelo acréscimo no rendimento dos frutos, em menores espaçamentos, foram a maior biomassa e o aumento na disponibilidade total de assimilados a serem distribuídos para os frutos.

A quantificação precisa da distribuição da radiação solar dentro de dosséis de plantas deve levar em consideração a arquitetura dos mesmos, a distribuição angular da radiação incidente, além de propriedades espectrais das folhas (Jones, 1992). Considera-se como características da arquitetura do dossel o arranjo horizontal e vertical das folhas, bem como sua distribuição e orientação. É difícil determinar experimentalmente este arranjo espacial de folhas sendo que, geralmente, ocorrem mudanças durante a estação de crescimento e, mesmo, durante o ciclo diário (Lemeur & Blad, 1974). Por isso, simplificações são feitas considerando que o “stand” vegetal é horizontalmente uniforme e, assim, a radiação é constante em qualquer estrato horizontal do dossel, somente havendo variações com a altura. A radiação tende a decrescer exponencialmente no perfil do dossel, com o acúmulo do índice de área foliar (IAF) a partir do topo do dossel (Pandolfo, 1995).

Esse conhecimento da distribuição e da absorção da radiação pela cultura é fundamental para entender muitos dos aspectos do crescimento e da produtividade da cultura e para a modelagem da fotossíntese de todo o dossel. A medida direta de interceptação da radiação e da fotossíntese para todas as folhas não é possível. Então, lança-se mão de modelos para caracterizar a distribuição da radiação solar no dossel (Rosati et al., 2001).

Para descrever o perfil vertical de radiação solar no dossel das culturas, normalmente se utiliza o modelo de extinção baseado na lei de Beer, proposto por Monsi & Saeki (1953), na seguinte formulação:

$$I = I_0 e^{-k IAF} \quad [1]$$

sendo I o fluxo de radiação solar que chega à superfície do solo, I_0 o fluxo de radiação incidente sobre o topo do dossel, k o coeficiente de extinção médio do dossel e IAF o índice de área foliar.

O coeficiente de extinção tende a ser baixo para folhas predominantemente eretas, mas é alto para folhas arranjadas horizontalmente, principalmente para folhas ou folíolos de maior tamanho. Baixos coeficientes de extinção são mais efetivos na transferência de radiação para o interior do dossel, resultando em melhor aproveitamento da radiação pelo dossel como um todo (Lambers et al., 1998).

2.3 Acúmulo e repartição de biomassa

Nos estádios iniciais, quando a planta é pequena, o acúmulo de matéria seca por dia é baixo. Porém, à medida em que a planta cresce, o ganho de biomassa por dia aumenta e tende a se estabilizar ao final do ciclo. A variação do acúmulo de matéria seca durante o ciclo de uma cultura é representado por uma curva sigmoideal.

A pequena taxa de crescimento inicial é atribuída ao menor número de células, à menor área foliar disponível para a interceptação da radiação solar e fotossíntese e, talvez, à maior percentagem de fotoassimilados (produtos fotossintéticos) destinada às raízes. Com o crescimento das plantas aumentam

as regiões meristemáticas (áreas de divisão celular), e mais folhas estarão presentes para agir como fonte. Então, cada planta será capaz de capturar e utilizar mais energia, com este aumento de tamanho (Loomis & Connor, 1992).

A superfície das folhas intercepta radiação solar e absorve CO₂ para utilizar no processo da fotossíntese. Assim, aumento da área foliar significa aumento na capacidade fotossintética da planta. Plantas que investem grande parte de seus fotoassimilados para o crescimento das folhas durante os estádios iniciais de crescimento podem crescer mais rapidamente (Brown, 1984).

Quando as plantas chegam à maturidade, parte das folhas fica inativa, pois tornam-se severamente sombreadas ou não fotossinteticamente ativas, o que causa senescência das mesmas. As folhas que se encontram nos níveis mais baixos, dentro do dossel, ficam mais sombreadas e possuem menor atividade metabólica (Brown, 1984).

O crescimento das plantas depende da fotossíntese e da translocação de fotoassimilados, dos sítios de fixação de carbono (fonte), nos diferentes tecidos fotossintéticos, para os locais de utilização ou armazenamento (dreno), onde ocorre o crescimento e a diferenciação (Silvius et al., 1978). A temperatura influencia na velocidade do transporte dos fotoassimilados. Quando muito baixas, as temperaturas diminuiriam o transporte ao longo do floema (Longuenesse, 1982).

Segundo Warren Wilson (1972) as fontes, são os órgãos produtores e exportadores de fotoassimilados, enquanto os drenos são os órgãos importadores. Entretanto, esta classificação não é rigorosa, pois um mesmo

órgão pode funcionar como dreno, quando jovem, e como fonte, em estágio maduro. A definição de força potencial de dreno é definida como a velocidade de crescimento, em acúmulo de matéria seca, quando nenhuma limitação existe.

A repartição de fotoassimilados para as diferentes partes da planta é de grande importância na produção da cultura. Em geral, há consenso de que a distribuição de fotoassimilados entre os drenos é regulada por eles próprios (Warren Wilson, 1972; Gifford & Evans, 1981; Ho, 1984), enquanto que as resistências ao longo do caminho são consideradas de menor importância.

Essa repartição dos fotoassimilados armazenados reflete o balanço entre a capacidade fotossintética da planta e a necessidade dos mesmos para crescimento. Quando a fotossíntese excede a necessidade de fotoassimilados para o crescimento, o excesso é armazenado. Estes compostos se movem, então, em direção ao dreno. Em uma planta em crescimento vegetativo, os fotoassimilados provenientes da folha podem mover-se para as raízes, pontos de crescimento do caule e em direção às folhas jovens. A quantidade relativa de fotoassimilados destinados às várias partes da planta, a partir de uma dada folha, depende da distância da folha àquelas outras partes da planta. Folhas baixas exportam a maior porção de seus fotoassimilados para as raízes do que para as folhas superiores. Quando não existem limitações de recursos para as raízes, estas constituem somente 10% da matéria seca total. Mas, quando o solo é limitado por recursos, como água e nutrientes, a fração de raízes na matéria seca total pode ser bem maior (Loomis & Connor, 1992).

Segundo Heuvelink (1996), citado por Andriolo & Falcão (2000), a alocação de assimilados das fontes para os drenos da planta do tomateiro depende, principalmente, do número de frutos existentes sobre a planta. Desta forma, um maior número de frutos por planta pode aumentar a fração de matéria seca alocada para os frutos, às custas do crescimento das partes vegetativas. Porém, se a área foliar for reduzida, a produção de fotoassimilados também será reduzida e, desta forma, a planta atinge equilíbrio funcional entre as fontes e os drenos.

Durante o crescimento da planta do tomateiro os órgãos têm diferentes habilidades para atrair os fotoassimilados, isto é, exercer força de dreno. Então, a prioridade de cada órgão em receber fotoassimilados é resultado da competição entre os próprios órgãos (competição de drenos). Esta prioridade é melhor avaliada pela proporção de fotoassimilados distribuídos quando há limitação dos mesmos, pois eles serão atraídos antes pelo dreno mais forte. O dreno mais fraco poderá ou não receber assimilados, dependendo da disponibilidade dos mesmos (Ho, 1984; Ho, 1996).

A produção de fotoassimilados não é o único fator que condiciona o crescimento da planta. O transporte e a distribuição desses compostos para os órgãos de acúmulo e reserva sofrem influência de outros fatores do ambiente, especialmente as temperaturas do ar e do solo. Em estufas que não dispõem de aquecimento, a temperatura depende da radiação solar incidente. Assim, mesmo que para o Rio Grande do Sul a disponibilidade de radiação solar se situe em níveis ligeiramente superiores ao limite inferior de radiação necessário para a sobrevivência da cultura, nos meses de maio a agosto é provável que,

as temperaturas sejam inferiores às necessárias ao adequado crescimento e desenvolvimento do tomateiro (Estefanel et al., 1998).

Quando a primeira inflorescência se desenvolve em plantas jovens de tomateiro, se houver baixa suplementação de fotoassimilados, causada por baixa disponibilidade de radiação ou alta densidade de plantas, ocorre indução à floração ou aborto de flores, bem antes do crescimento do caule e das raízes ser afetado (Hewitt & Marrush, 1986; Ho, 1996). Como os frutos acumulam mais água do que os outros órgãos, a diferença nos ganhos de matéria seca entre os órgãos é pequena. Entretanto, a taxa de acúmulo de matéria seca diária em todos os frutos é consideravelmente maior do que nas folhas e ramos (Maher, 1976). Contudo, quando os fotoassimilados são limitados, os frutos absorvem a maior parte desses compostos disponíveis (Hurd et al, 1979).

Sob temperaturas ótimas, mas insuficiente radiação incidente, o desenvolvimento floral pode sofrer atraso ou, até mesmo, resultar em aborto de flores. Baixas temperaturas, em torno de 10° C, resultam em baixa viabilidade do pólen produzido. Temperaturas acima de 25°C podem, também, reduzir o número de frutos (Charles & Harris, 1972).

O crescimento do fruto de tomate, avaliado pelo ganho de peso fresco, é descrito por uma curva sigmóide (Enret & Ho, 1986). O crescimento nas primeiras duas semanas é causado, principalmente, pela divisão celular e início da expansão das células, enquanto no período final é dominado pela intensa atividade metabólica. Entre essas duas etapas, durante o rápido crescimento, tanto o acúmulo diário de matéria seca como o de água atingem o máximo, aproximadamente na terceira semana após a antese (Ho et al, 1987).

A taxa diária de crescimento do volume do fruto é aumentada por temperaturas elevadas, mas reduzida pelo déficit hídrico. Embora o crescimento do fruto se deva, primeiramente, à suplementação de fotoassimilados, o volume diário de crescimento não é relacionado com a taxa fotossintética simultânea. Em geral, o déficit hídrico tem efeito mais drástico e imediato no crescimento do fruto (Pearce et al., 1993).

2.4 Fotossíntese relacionada à disponibilidade de radiação solar

A fotossíntese pode ser resumida como um processo de oxirredução, em que a água é oxidada (eliminação de elétrons com liberação de O_2 como subproduto) e o CO_2 é reduzido, para formar carboidratos. Este processo ocorre nos cloroplastos em presença de clorofila, o pigmento verde das folhas das plantas e necessita de radiação fotossinteticamente ativa (Salisbury & Ross, 1994).

A taxa fotossintética, isto é, a quantidade de CO_2 fixado por unidade de área foliar e tempo, depende da disponibilidade de radiação solar. Experimentos em folhas individuais mostram que o aumento no fluxo de radiação solar resulta em maiores taxas de fixação de carbono, embora com aumentos decrescentes ou até mesmo atingindo a saturação, dependendo da espécie (Aikman, 1989).

A maioria das espécies armazenam 1 a 2% da radiação solar incidente sobre as culturas durante todo o ciclo. Em curtos períodos a fixação de CO_2 pelas culturas pode alcançar 10% da radiação solar incidente. Isto pode acontecer somente durante o máximo crescimento de uma cultura ou em

baixa disponibilidade de radiação. Porém, em condições não limitantes, a eficiência fotossintética fica em torno de 2,0 a 2,5% (Moss, 1984; Salisbury & Ross, 1994).

Trabalhos de McAvoy & Janes (1989) demonstraram que a taxa fotossintética líquida em plantas de tomateiro, em condições de saturação de radiação solar, é maior quando a expansão foliar ainda está ocorrendo, com 40% do seu tamanho final. Já quando as folhas estão totalmente expandidas e o fruto começa a crescer rapidamente, a taxa de fixação de carbono por unidade de área foliar decresce. Este decréscimo na atividade fotossintética é contínuo até o fruto ficar vermelho. A taxa fotossintética decai a cerca de 70% daquela encontrada no seu pico máximo, durante o início da formação dos frutos, para 40% da máxima, quando se aproxima o estágio de frutos verde-maduros, decrescendo para 20% da máxima quando os tomates encontram-se no estágio vermelho-maduro.

Na cultura de fava (*Vicia faba* L) as folhas jovens, da parte superior do dossel, com maior concentração de N, apresentaram maior capacidade fotossintética do que as folhas mais abaixo, com menor concentração (Del Pozo & Dannett, 1999).

Mesmo que novas folhas com maiores taxas fotossintéticas continuem a se desenvolver, a taxa de fotossíntese da cultura por unidade de área foliar declina, significativamente, com a idade das mesmas (Jewiss & Wolegde, 1967; Davis & McCree, 1978; Peng & Krieg, 1991). Durante o período de desenvolvimento do fruto de algodoeiro, as folhas tendem a ficar por baixo dos frutos, tendo, com isso, menor atividade fotossintética e menor

recebimento de fluxo de fótons. A perda da capacidade fotossintética limita o fornecimento de fotoassimilados para o desenvolvimento dos frutos, podendo resultar em aborto de frutos sob condições de extremo sombreamento (Sassenrath-Cole, 1995).

A mudança na eficiência fotossintética da planta, resultante do envelhecimento ou senescência das folhas, tem sido descrita como uma retirada ordenada de materiais a partir de uma economia geral da planta. Então, a perda da atividade fotossintética com aumento da idade das folhas ocorre devido à degradação da clorofila, observado através do amarelecimento dos tecidos fotossintéticos, juntamente com a degradação do cloroplasto (Constable & Rawson, 1980). A variação da eficiência fotossintética pode limitar significativamente a absorção de carbono nas folhas mais baixas do dossel.

Sassenrath-Cole et al. (1996) observaram, na cultura do algodão, um contínuo e substancial declínio na capacidade fotossintética máxima com o envelhecimento da folha, sem levar em consideração os níveis de radiação solar. A taxa fotossintética decai com o envelhecimento da folha, independente do nível de radiação solar recebida durante o processo de envelhecimento. Isto comprova que este declínio da atividade fotossintética da folha resulta de uma alteração na função fisiológica, mais do que a resposta à mudança do ambiente, com relação à radiação solar em nível de dossel, ou seja, a folha tem uma duração limitada genotipicamente.

As folhas desenvolvidas na parte superior do dossel vão, lentamente, substituídas por novas, permanecendo na parte mais baixa do

dossel e, com isso, ficando mais sombreadas. Entretanto, em trabalhos com algodoeiro os resultados indicaram que não há diferença no curso ou na magnitude do decréscimo da fotossíntese com o envelhecimento, mesmo em diferentes níveis de radiação solar. Então, pode-se concluir que, não é possível prevenir a deterioração fisiológica da atividade fotossintética causada pela senescência da folha (Sassenrath-Cole et al.,1996).

Xu et al. (1997) relataram que a capacidade fotossintética da cultura do tomateiro, decresce com a idade das folhas. A eficiência no uso da radiação solar e a taxa de respiração observadas também foram menores em folhas velhas do que em folhas novas. Os valores estimados de fotossíntese líquida da décima (completamente expandida), décima quinta e décima oitava folhas, a partir do topo do dossel, foram apenas 50, 21 e 7%, comparando com a quinta folha (em expansão). Os autores concluíram que as folhas abaixo da décima oitava podem ser removidas, para promover maior circulação do ar e prevenir moléstias.

Em todas as culturas a maioria das folhas é total ou parcialmente sombreada, ou está com ângulo oblíquo em relação ao sol. A fotossíntese destas folhas sombreadas aumenta com o aumento da radiação, embora as folhas expostas ao sol possam estar saturadas (Moss, 1984). Em folhas de tomateiro saturadas por radiação a taxa de fotossíntese depende da disponibilidade de radiação sob a qual ocorreu o crescimento da mesma. Por exemplo, folhas que cresceram em alta disponibilidade de radiação possuem o seu ponto de compensação mais alto do que folhas que cresceram sob baixa disponibilidade de radiação. Dentro do dossel existe um conjunto de folhas,

cada uma delas adaptada a diferentes condições de radiação. Com isso, é possível que existam diferentes características fotossintéticas para diferentes folhas (Acock et al. 1978).

Plantas que cresceram em ambiente sombreado são incapazes de realizar altas taxas de fotossíntese, mas são eficientes em baixas disponibilidades de radiação. Plantas que cresceram sob alta radiação, em seus ambientes naturais, têm alta capacidade para realizar fotossíntese e saturam somente em altas disponibilidades de radiação; mas, mostram taxas de fotossíntese menores que as plantas de sombra em baixos níveis de radiação (Boardman, 1977).

De uma maneira geral plantas de sombra têm folhas mais finas e seus cloroplastos são maiores. O conteúdo de clorofila das plantas de sombra por unidade de área foliar, normalmente, é menor (Boardman, 1977). O ponto de saturação luminoso aumenta com o aumento da disponibilidade de radiação sob a qual as plantas cresceram. Plantas que cresceram sob baixos níveis de radiação tem ponto de saturação menor do que aquelas que cresceram sob alta disponibilidade de radiação.

O aumento na espessura das “folhas de sol” é causado pela formação de células paliçádicas maiores e/ou aumento no número de camadas de células paliçádicas. A porção relativamente maior do mesófilo esponjoso, nas “folhas de sombra”, aumenta a absorbância da radiação solar devido ao maior espalhamento interno da mesma. Com isso, as folhas mais finas (de sombra) são mais efetivas na absorção de luz (Lambers et al., 1998). As “folhas de sombra” têm maior absorbância em ambientes com baixa

disponibilidade de luz, mas as folhas de sol têm maior absorvência em ambientes com alta radiação incidente.

A eficiência da fotossíntese bruta tem um valor máximo em condições de baixa radiação e decresce com o aumento da mesma, pois outros fatores do sistema fotoquímico tornam-se mais limitantes. Entretanto, a fotossíntese líquida, que é mais relevante para a produtividade da cultura, possui eficiência negativa em baixa luminosidade. Ela é nula no ponto de compensação luminoso, tornando-se máxima com o aumento da densidade de fluxo de radiação até que ocorre a saturação da fotossíntese por radiação (Warren Wilson et al., 1992).

A competição pela radiação solar é resultado do sombreamento das folhas por outras folhas. Quando o IAF é baixo a eficiência fotossintética de cada folha é alta. Com o aumento do IAF esta eficiência decresce. O decréscimo da eficiência fotossintética de cada folha resulta, em parte, do progressivo aumento do sombreamento mútuo das próprias folhas (Brown, 1984). Se existem muitas folhas, aquelas da base não recebem radiação solar suficiente para obter fotossíntese líquida positiva, o que resulta em maior perda do que ganho de CO₂. Estas folhas entram em processo de senescência e, as proteínas das mesmas, são degradadas em compostos nitrogenados solúveis, que são translocados para tecidos jovens ou para órgãos perenes. Antes que ocorra a abscisão das folhas, os produtos da degradação de proteínas são transportados para fora da folha e estocados nos ramos. Desta forma, uma reserva considerável de aminoácidos e proteínas estará disponível para o crescimento de novas folhas e ramos (Larcher, 2000).

2.5 Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa

A relação existente entre a produção de matéria seca e a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ou absorvida, tem sido amplamente usada para definir a eficiência de uso da radiação pelas culturas (Sivakumar & Virmani, 1984; Costa et al., 1996; França et al., 1997). Considera-se que, em plantas saudáveis e adequadamente supridas de água e nutrientes, a fotossíntese líquida e a produção de fitomassa sejam proporcionais à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (Monteith, 1977). Entretanto, cuidados são necessários quando se compara a produtividade da cultura em diferentes níveis de radiação (Russel et al., 1989), pois a relação entre a taxa fotossintética e a densidade de fluxo de radiação não tem relação linear dentro do dossel, pois, a maioria das folhas está exposta a baixos níveis de radiação durante a maior parte do dia.

O conceito de eficiência de uso da radiação solar surgiu a partir do reconhecimento de que a produção de biomassa vegetal é proporcional ao acúmulo de radiação interceptada por muitas culturas, em condições de crescimento não limitantes (Curt et al., 1998). Segundo Monteith (1977), a eficiência de uso da radiação é a eficiência da conversão de radiação interceptada em matéria seca acumulada. Essa estimativa da eficiência de uso da radiação é considerada simples, relativamente estável e razoavelmente precisa em muitas situações. Por outro lado, a eficiência de uso não pode ser considerada constante para condições não ótimas.

Embora a radiação solar forneça energia para as reações fotossintéticas, uma planta que estiver sob algum tipo de estresse pode

interceptar e absorver a mesma quantidade de radiação que plantas não estressadas. Porém, plantas estressadas podem apresentar menor taxa fotossintética e, com isso, menor eficiência de uso da radiação (Moss, 1984).

A absorção da radiação incidente, ou seja, o aproveitamento da RFA pelas culturas depende do seu IAF e de outros fatores físicos e biológicos. Essas variáveis correspondem à estrutura do dossel e são determinadas pela posição solar, geometria e tamanho da folha, ângulo de distribuição das folhas, idade, arranjo das plantas, altura da planta, época do ano e nebulosidade (Varlet-Grancher et al., 1989). O aproveitamento da RFA depende também de fatores inerentes às espécies de plantas e outros fatores, como condições meteorológicas e práticas de manejo da cultura.

A eficiência de uso da radiação pode ser aplicada para diversos tópicos de pesquisa, como análise de crescimento de plantas ou culturas, previsão de rendimento, competição entre plantas e estimativa do potencial de produção de novas culturas (Manzanares et al., 1993).

Gallo et al. (1993) mostraram como a eficiência de uso da radiação pode variar, dependendo simplesmente de como os componentes (produção de matéria seca aérea ou total de radiação incidente, interceptada ou absorvida) são definidos e medidos. Para uma estimativa precisa é necessário que os vários fatores de cálculo da eficiência de uso da radiação sejam determinados no local.

Pode-se determinar a máxima eficiência de uso da radiação solar tanto para uma simples folha como para uma população de plantas. Entretanto, para uma população, o coeficiente linear (intercepto ao eixo das ordenadas),

que corresponde ao ponto de compensação da radiação, ocorre em densidades de fluxo mais elevadas do que para folhas individuais. As folhas individuais atingem a máxima eficiência de uso da radiação em fluxos de radiação relativamente baixos e esta eficiência declina rapidamente com o aumento da radiação solar incidente, acima deste nível, pois a maioria das folhas ficam sombreadas (Acock et al., 1978).

A eficiência fotossintética pode ser expressa como função dos totais de radiação incidente, radiação interceptada ou radiação absorvida. Como não é esperada alteração na eficiência de absorção ou de interceptação, a curto prazo, o emprego de um ou outro parâmetro poderá afetar a magnitude da eficiência fotossintética, mas não afetará a forma da curva de resposta da eficiência (Warren Wilson et al., 1992). Esses mesmos autores citam que, acima de 150 W m^{-2} , a eficiência de conversão do tomateiro é maior para a população de plantas do que para folhas individuais. Esta eficiência de conversão decresce gradualmente com o aumento do fluxo de radiação solar, acima do ótimo. O aumento da radiação solar incidente pode provocar saturação das folhas superiores, mas promove, também, maior fotossíntese nas folhas mais baixas. Então, a eficiência de conversão da população não está longe da máxima, sob radiação que prevalece durante dias de verão.

As variáveis que afetam a taxa de fotossíntese também afetam a eficiência de uso da radiação. O fluxo de radiação fotossinteticamente ativa é uma dessas variáveis. Uma resposta linear do crescimento da cultura para a RFA absorvida é esperada ao longo do ciclo de desenvolvimento. A irradiância na qual a taxa fotossintética das folhas se torna saturada depende das

propriedades das folhas e da estrutura da cultura, e parece ser menor para dosséis planófilos do que para eretófilos. O nível de radiação em que ocorre a saturação é muito maior para grupos de folhas localizadas no interior do dossel, sendo que muitas das folhas nunca chegam à saturação (Russel et al., 1989).

O valor da eficiência de uso da radiação muda com o ciclo da cultura da planta, possivelmente como uma consequência das mudanças ontogênicas na estrutura da cultura, bem como por possíveis efeitos na atividade de dreno e na taxa fotossintética (Russel et al., 1989).

Se toda a radiação for interceptada pelas folhas do topo da cultura, devido a uma grande área foliar ou devido às folhas serem horizontais, pouca radiação penetrará até as folhas de níveis inferiores do dossel e, então, somente uma pequena área foliar pode ser sustentada.

Sinclair & Horie (1989) tentaram integrar as taxas de assimilação de CO_2 de folhas individuais para entender o total de biomassa acumulada. Variações nas taxas de fotossíntese de folhas individuais, distribuição da radiação solar dentro do dossel e atividade da respiração complicam cálculos exatos. Em baixo IAF, a eficiência de uso da radiação é baixa devido à alta fração de área foliar da cultura que está sujeita à saturação fotossintética por radiação e também porque a interceptação é baixa. As folhas que estão saturadas por luz são menos eficientes do que aquelas que estão na sombra. Como a fração de área de folhas sombreadas aumenta com o decorrer do ciclo da cultura, aumenta significativamente também a eficiência de uso da radiação. Estes autores só consideraram a radiação direta, pois a inclusão da radiação

difusa talvez altere os valores da eficiência do uso da radiação, pois a radiação difusa é mais uniformemente distribuída entre as folhas do que a radiação direta.

Experimentalmente, os valores de eficiência de uso da radiação sob condições de ambiente protegido tem sido maiores do que os encontrados em condições de campo (Hammer & Vanderlip, 1989; Sinclair et al., 1992). Na cultura da fava (*Vicia faba* L.), Kasim & Dennett (1986) observaram maiores valores de eficiência de uso da radiação quando a cultura cresceu sob condições de sombreamento, sugerindo que a curva de resposta da fotossíntese para a radiação não é o único fator envolvido.

Através de modelos, Sinclair et al. (1992) concluíram que um aumento na fração difusa resultou em aumentos na eficiência de uso da radiação na cultura do milho e da soja. A razão deste aumento decorre de um incremento na contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de biomassa da cultura à medida em que aumenta a fração difusa. Dentro de estufas há maior quantidade de radiação difusa, ocasionando maior eficiência nesses ambientes.

Todas as variáveis, como a disponibilidade de RFA incidente, a taxa fotossintética, o acúmulo de matéria seca, a eficiência de interceptação da radiação e as mudanças nas características espectrais da radiação nos ambientes de estufa irão modificar a eficiência de uso da RFA interceptada pela cultura do tomateiro.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Localização e clima

O experimento foi conduzido na área física do Centro de Pesquisa Veterinária Desidério Finamor, da Fundação Estadual de Pesquisa Agropecuária – FEPAGRO, localizado no município de Eldorado do Sul (latitude 30^o 05'S, longitude 51^o 39' W, altitude de aproximadamente 10m), na região climática da Depressão Central, no período de setembro de 1999 a junho de 2000.

O clima da região é subtropical úmido de verão quente do tipo fundamental “Cfa”, conforme a classificação climática de Köppen, o qual predomina na maior parte do estado do Rio Grande do Sul e da Região Sul do Brasil. A precipitação média anual é de 1440 mm e a evapotranspiração de referência média anual (método de Penman) é de 1235 mm (Bergamaschi & Guadagnin, 1990).

O relevo da área experimental é plano, sendo o solo pertencente a unidade de mapeamento Pelotas (Brasil, 1973), sendo classificado, segundo sistema brasileiro de classificação de solos (EMBRAPA, 1999) como Planossolo Hidromórfico Eutrófico. Este tipo de solo é medianamente profundo, imperfeitamente e mal drenado, com predominância no perfil de cores cinzas.

3.2 Semeadura

Foi utilizada a cultivar de tomateiro *Flora-dade*, americana, de hábito de crescimento determinado, do tipo comercial salada.

As mudas foram produzidas em estufa especial (estufim). A semeadura foi realizada em substrato à base de compostagem de pinus, com o nome comercial de Plantmax. Este substrato foi colocado em bandejas de poliestireno (isopor) com 128 células de 5 cm de altura. Em cada célula foram colocadas três sementes, e posteriormente, fez-se o desbaste para deixar apenas uma muda de tomateiro.

A semeadura foi feita no dia 08 de setembro de 1999, no primeiro ciclo, e em 19 de janeiro de 2000, no segundo ciclo.

As mudas foram transplantadas quando estavam com quatro folhas. Isso ocorreu no dia 18 de outubro de 1999 (primeiro ciclo) e em 15 de fevereiro de 2000 (segundo ciclo).

Foi adotado um arranjo em linhas pareadas, com espaçamento entre as mesmas de 0,80m no canteiro e 1,20m entre as linhas de canteiros vizinhos. Na mesma linha, adotou-se um espaçamento de 0,50m entre as plantas. Com este arranjo a população era de duas plantas por metro quadrado, correspondendo a 20.000 plantas ha⁻¹.

3.3 Adubação, transplante e controle fitossanitário

Com o canto de uma enxada foi aberto um sulco em forma de “V”, com aproximadamente 15cm de profundidade, para a colocação do adubo NPK (5-20-20) na dose de 150g por metro linear, correspondente a 1500kg ha⁻¹.

Após a colocação do adubo fez-se a mistura com o solo, revolvendo-o para que o fertilizante não ficasse concentrado ou que entrasse em contato direto com as raízes. Covas com aproximadamente 7cm de profundidade foram abertas para a colocação das mudas, a cerca de 5cm de distância do sulco do adubo.

No transplante, as mudas foram colocados em covas, umedecendo-se o solo a seguir para assegurar o contato substrato-raiz com o solo.

Outra adubação foi realizada aos 30 dias após o transplante, ao lado das plantas, com a mesma dosagem e a mesma formulação. Neste mesmo dia, fez-se a “amontoa”, que consiste em colocar solo ao redor das plantas para aumentar o enraizamento e a sustentação das mesmas.

Para o controle de alguns insetos de solo, principalmente da lagarta rosca (*Agrotis ipsilon* Hufnagel), aplicou-se inseticida à base de deltamethrin, numa concentração de 50 mL/100 L, aplicando-se 75mL de solução por muda.

O controle de moléstias foi realizado preventivamente, com pulverizações semanais de fungicidas à base de iprodione, oxicloreto de cobre, mancozeb e mancozeb+metalaxyl-M, até a época da colheita, respeitando-se o período de carência. No ambiente fora da estufa as aplicações foram realizadas semanalmente ou sempre após uma chuva.

O controle de insetos foi feito de forma curativa, de acordo com a praga identificada, através de inseticida à base de deltamethrin e cyromazine.

No ambiente de estufa com tela (CT), e sem tela (ST) foi observada a ocorrência de nematóides nas raízes da maioria das plantas, no final do segundo ciclo. Não foi realizado controle fitossanitário, já que as plantas não evidenciaram sintomas de danos. Entretanto, a ocorrência de nematóides pode

ter caudado maior variabilidade entre as plantas quanto a altura, em termos área foliar, biomassa da parte aérea e produção de frutos.

3.4 Características e manejo da estufa

A estufa utilizada foi do modelo Pampeana, de cobertura em arco, com dimensões de 10 x 24m (240m² de área). Essa estufa possuía pé direito lateral de 3,0 m e altura máxima de 4,5 m na parte central. Utilizou-se cobertura de filme de polietileno transparente de baixa densidade, com 150 µm de espessura, aditivado com anti-UV. As faces laterais da estufa possuíam o mesmo filme, ao seu redor, porém com espessura de 100 µm. As cortinas laterais tinham a função de regular a ventilação do ambiente interno, através da abertura e fechamento das mesmas. As cortinas eram abertas no início da manhã (entre 7 e 8 h) e fechadas no final da tarde (entre 18 e 19 h), este procedimento foi adotado tanto na primeira como na segunda época de cultivo, independente da temperatura do ar. Em dias ventosos as mesmas permaneciam fechadas para evitar possíveis danos às plantas e/ou a cobertura plástica.

3.5 Arranjo experimental

O experimento foi conduzido em três ambientes diferentes. Para isto, a estufa foi dividida em dois ambientes: um desses compartimentos teve instalada uma tela anti-insetos de coloração branca ao seu redor, o qual foi denominado ambiente com tela (CT); a outra parte da estufa permaneceu sem a tela anti-insetos ao seu redor (ST). Um terceiro ambiente consistia de

parcelas cultivadas fora da estufa plástica, que foi denominado de FE. Em cada ambiente havia cinco canteiros com 1,60m de largura e espaçamento de 0,40m entre eles, conforme a Figura 2.

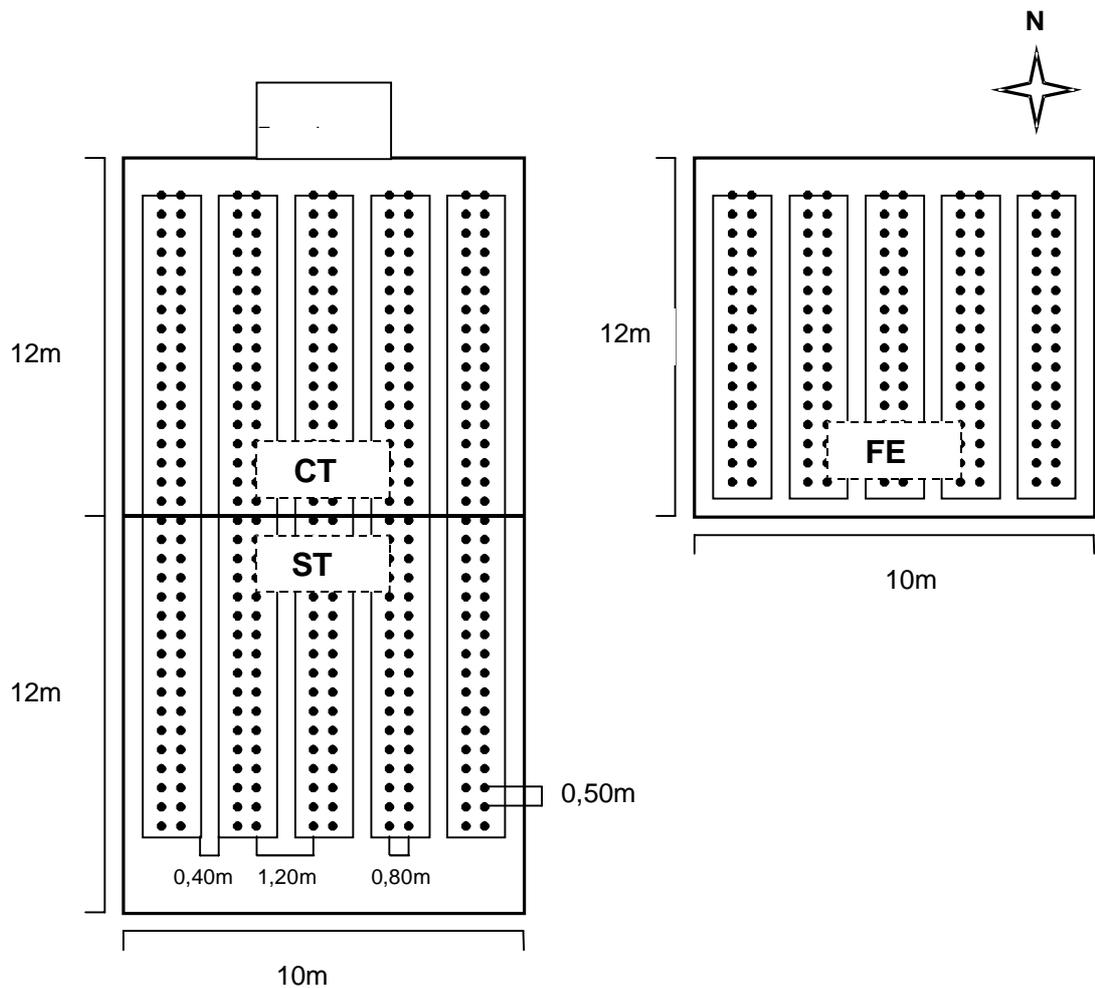


FIGURA 2: Representação do experimento, no campo, e disposição das parcelas nos três ambientes, com tela (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

A estufa e os canteiros, foram dispostos na direção norte-sul, para promover penetração da radiação solar mais uniforme entre os canteiros, e reduzir o sombreamento das plantas dispostas no lado sul da estufa.

3.6 Sistema de irrigação

A irrigação foi efetuada através de gotejamento, com mangueiras providas de gotejadores integrados tipo labirinto. O espaçamento entre as mangueiras era de 80cm no canteiro, e ficavam próximas às plantas. O espaçamento entre os gotejadores era de 30cm, os quais tinham vazão média de 564mL h^{-1} , com todo o sistema ligado e com pressão de aproximadamente 2m de coluna d'água.

3.7 Sistema de condução

Considerando que a cultivar utilizada é de crescimento determinado, foi realizada uma única poda, para a retirada dos brotos abaixo do primeiro rácimo, a fim de evitar crescimento demasiado das plantas. A retirada dos brotos foi realizada a partir de 20 dias após o transplante (DAT), nos dois ciclos da cultura.

As plantas foram tutoradas para impedir o tombamento das mesmas e permitir maior penetração de radiação solar e ventilação dentro do dossel. O tutoramento foi realizado com estacas de madeira (uma por metro linear, ou seja, a cada duas plantas) e fitas plásticas em três níveis das plantas (30, 60 e 90cm acima da superfície do solo). A colocação das fitas plásticas ocorreu à medida em que as plantas foram crescendo.

3.8 Determinações

3.8.1 Potencial da água no solo

O potencial matricial da água do solo foi monitorado através de tensiômetros de manômetro de mercúrio, cujas leituras de altura da coluna de mercúrio foram transformadas em potencial da água do solo, pela equação:

$$\Psi_m = -12,6H + hc + z \text{ (cm de água)} \quad [2]$$

sendo Ψ_m o potencial matricial da água no solo, H a altura da coluna de mercúrio acima da cuba (cm), hc a altura média do mercúrio (na cuba) em relação à superfície do solo (cm) e z a profundidade em que a cápsula porosa foi instalada (cm).

Havia um tensiômetro por ambiente, instalado a 30cm. Nesta profundidade foi observada a maior concentração de raízes. No ambiente CT também havia um tensiômetro a 90cm de profundidade, para monitorar a altura do lençol freático. As leituras dos tensiômetros foram feitas em frequências variáveis, mas, no mínimo, uma vez por semana.

Durante o segundo ciclo, só havia um tensiômetro monitorando os dois ambientes de estufa, conforme pode ser verificado pelo Apêndice 7. Isto foi viável, pois a irrigação das plantas do ambiente com tela (CT) e sem tela (ST) era realizada com o mesmo conjunto de mangueiras. O potencial matricial da água no solo observado no primeiro ciclo, nos ambientes de estufa com tela (CT) e sem tela (ST), apresentou o mesmo comportamento, sendo que as diferenças apresentadas entre eles, foram resultantes da demanda

evaporativa. Devido aos elevados valores do potencial matricial da água do solo, essa diferença não afeta na disponibilidade da água.

3.8.2 Elementos micrometeorológicos

Todos os elementos micrometeorológicos citados a seguir foram coletados através de sensores acoplados a um “datalogger” (modelo CR10X, Campbell Scientific, Logan, EUA), sendo que as leituras ocorriam a cada 10 segundos e o valor médio era registrado a cada 30 minutos. No primeiro ciclo todos os sensores foram instalados aos 21 dias após o transplante (DAT), utilizando-se os dados a partir de 22 DAT. No segundo ciclo os dados de temperatura foram coletados a partir de 15 DAT, mas os dados de radiação somente foram coletados a partir de 26 DAT. Os dados de umidade relativa do ar não estiveram disponíveis de maneira contínua, pois apresentaram inconsistência de valores durante alguns períodos e houve falta de bateria em vários dias.

3.8.2.1 Temperatura do ar

A temperatura do ar foi medida a 1,40m acima da superfície do solo, nos três ambientes (CT, ST e FE). Os sensores utilizados foram pares termoeletrônicos cobre-constantan, marca Campbell.

Utilizando-se dados coletados a cada 30 minutos, em cada ambiente, foi determinada a temperatura média diária das 24 horas, a temperatura média diurna (dados das 7 às 18h) e as temperaturas máxima e mínima diárias nas duas épocas de desenvolvimento da cultura do tomateiro.

3.8.2.2 Radiação solar global (Rg) e radiação fotossinteticamente ativa (RFA)

Um piranômetro (marca LICOR) foi instalado na parte superior externa (cumeeira) da estufa para produção de mudas para medir a radiação solar global. Como houve problemas de medições em alguns dias, foram incluídos dados da estação do Instituto Rio Grandense do Arroz (IRGA), localizada no município de Cachoeirinha, para estimar a radiação solar global e preencher as lacunas.

Para estimar dados faltantes, procedeu-se o ajuste de uma função de regressão linear com dados de radiação solar coletados no local do experimento na FEPAGRO e na estação do IRGA, obtendo-se a seguinte equação:

$$y = 1,1568x \quad (r^2 = 0,883) \quad [3]$$

em que y corresponde ao valor de radiação solar estimado para um determinado dia, e x é o dado de entrada da radiação solar, medido na estação do IRGA.

Para medição da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) incidente foram utilizados sensores tipo “quantum” (marca LICOR, Inc.), os quais estavam instalados a 2m de altura, um em cada ambiente, localizados no canteiro central de cada ambiente, estes sensores permaneceram no mesmo local durante os dois ciclos da cultura do tomateiro. No primeiro ciclo também foram instaladas seis barras providas de células de silício amorfo (duas em

cada ambiente), sendo que cada barra continha sete células ligadas em paralelo e espaçadas de 15 em 15cm. Esses sensores, montados sobre barras de alumínio, foram posicionados a 10cm da superfície do solo, no canteiro central em cada ambiente, dispostos no sentido transversal a linha da cultura. Um conjunto dos sensores ficou voltado para cima (para medir a radiação transmitida ao solo RFA_{ts}) e outro voltado para baixo (para medir a radiação refletida pelo solo RFA_{rs}). Cada conjunto de sensores (barra) foi calibrado, utilizando um sensor “quantum” de referência (LICOR, Inc.), no intervalo entre as duas épocas de cultivo do tomate.

No segundo ciclo, além dos sensores tipo “quantum” que mediam a RFA incidente, localizados a 2m de altura, foram utilizados nove conjuntos de células de silício amorfo, sendo três em cada ambiente: um foi posicionado na parte superior da cultura, a 1,50m acima da superfície do solo voltado para baixo para medir a radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo e pela cultura (RFA_{rsc}); um conjunto foi instalado a 10cm acima do solo voltado para cima, para medir a RFA transmitida ao solo (RFA_{ts}); e outro conjunto foi mantido a 10cm acima do solo, voltado para baixo, para medir a RFA refletida pelo solo (RFA_{rs}), todos os sensores acima mencionados estavam localizados no centro de cada ambiente.

Os dados de radiação fotossinteticamente ativa foram registrados em $\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}$ e utilizados em $\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}$, adotando-se o seguinte procedimento:

$$RFA = \sum_{\text{diário}} \frac{RFA (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}) t (\text{s})}{1000000} (\text{mol m}^{-2} \text{dia}^{-1}) \quad [4]$$

onde RFA é a radiação fotossinteticamente ativa, t o tempo entre as coletas.

Para fins de comparação os dados foram transformados em MJ m⁻² dia⁻¹, utilizando um único valor para os diferentes ambientes, seguindo a metodologia de Thimijan & Heins (1983), pela seguinte equação:

$$RFA = \sum_{\text{diário}} \frac{(RFA (\mu\text{mol s}^{-1} \text{m}^{-2}) \times t (\text{s})) / 4,57}{1000000} \quad (\text{MJ m}^{-2} \text{dia}^{-1}) \quad [5]$$

onde RFA é a radiação fotossinteticamente ativa, t o tempo entre as coletas e 4,57 o valor de conversão. O resultado foi dividido por 1.000.000 para transformar em MJ m⁻². Todos os valores calculados a cada 30 minutos foram somados, obtendo-se a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) em MJ m⁻² dia⁻¹.

A razão RFA/Rg, utilizando-se a radiação global em MJ m⁻² dia⁻¹ e à radiação fotossinteticamente ativa em mol m⁻² dia⁻¹ para o ambiente externo à estufa foi de 1,66. Para a estufa com tela antiinsetos (CT) a razão foi de 1,10 e para a estufa sem tela (ST) ela foi de 1,19. Assim, na falta de medias diretas, optou-se por estimar a RFA através da razão RFA/Rg específica para cada ambiente.

3.8.2.3 Umidade relativa (UR) do ar e umidade absoluta (UA)

Os dados de umidade relativa do ar (%) foram coletados a cada 30 minutos, através de sensores (tipo Vaissala) localizados a 1,40m acima da superfície do solo e no canteiro central, sendo que em cada ambiente havia um sensor.

A umidade absoluta foi calculada através da seguinte equação:

$$UA = 289 \frac{e}{T} \quad (\text{g m}^{-3}) \quad [6]$$

sendo UA a umidade absoluta (g m^{-3}), e a pressão de vapor (mmHg) e T a temperatura do ar (K).

Para obter a pressão de vapor do ar (e) foi, antes calculada a pressão de saturação do ar (e_s), através da equação de Tetens:

$$e_s = 4,58 \times 10^{\frac{7,5t}{237,3+t}} \quad (\text{mmHg}) \quad [7]$$

sendo e_s a pressão de saturação do ar (mmHg) e t a temperatura do ar.

Então, com dados de umidade relativa medida pelo sensor vaissala foi calculada a pressão de vapor d'água do ar, pela expressão:

$$e = \frac{UR \times e_s}{100} \quad (\text{mmHg}) \quad [8]$$

3.8.3 Análise de crescimento

A análise de crescimento da cultura foi efetuada a partir da primeira semana após o transplante, coletando-se três plantas por ambiente, com amostragens semanais no primeiro ciclo e quinzenais durante o segundo ciclo. As plantas eram amostradas através de sorteio realizado no dia da coleta. Mantendo-se sempre o mesmo horário de retirada das amostras.

3.8.3.1 Índice de área foliar (IAF)

A área foliar foi determinada através de um planímetro ótico modelo LI 3000 (LICOR, Lincon, EUA). Mediu-se a área foliar de uma planta por ambiente e, posteriormente, colocou-se esta planta em uma estufa ventilada à temperatura de aproximadamente 70°C, até atingir peso constante. Após, calculou-se a área foliar específica, ou seja, a razão área foliar/matéria seca da respectiva área foliar, para estimar a área foliar das outras duas plantas. Com a área foliar de três plantas de cada ambiente, fez-se o cálculo para determinar o índice de área foliar (IAF) pela seguinte fórmula:

$$IAF = \frac{AF}{S} \quad [9]$$

sendo AF a área foliar (m²) e S a área do terreno ocupada pela amostra (m²).

O IAF diário, utilizado para determinar o coeficiente de extinção, foi estimado a partir de um modelo polinomial de terceiro grau, ajustado aos dados de medição de cada amostragem, cuja variável independente era o número de dias após o transplante. Os modelos ajustados para cada tratamento e ciclo da cultura eram do tipo:

$$Y = a + bx + cx^2 + dx^3 \quad [10]$$

sendo y o IAF diário estimado e x o número de dias após o transplante (DAT). No Apêndice 1 estão relacionados os dias após o transplante (DAT) com as respectivas datas.

A área foliar específica (AFE), que representa a razão entre área foliar e o seu respectivo peso, foi calculada pela seguinte expressão:

$$AFE = \frac{AF}{MS} \quad (\text{m}^2 \text{ g}^{-1}) \quad [11]$$

sendo AF a área foliar (m^2 de folhas) e MS o peso da matéria seca (g) da respectiva área foliar. Foram utilizados os dados semanais, na primeira época e, quinzenais na segunda época.

3.8.3.2 Acúmulo e repartição da massa de matéria seca

Em cada planta coletada foram separados o caule, as folhas e os frutos e as raízes que foram colocados em estufa ventilada à temperatura de aproximadamente 70°C , até atingir peso constante, para pesagem posterior.

Para calcular a quantidade de matéria seca aérea acumulada somou-se as pesagens de matéria seca do caule, das folhas e dos frutos em cada dia de amostragem.

3.8.3.3 Percentagem de matéria seca em frutos

A percentagem de matéria seca em frutos foi determinada através da seguinte razão:

$$\% \text{ frutos} = \frac{\text{MS frutos}}{\text{MS total}} \times 100 \quad [12]$$

sendo MS frutos a massa de matéria seca dos frutos (g) e MS total a massa de matéria seca de toda a parte aérea (g), obtidos em cada amostragem.

3.8.4 Radiação absorvida e interceptada pela cultura

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pela cultura foi calculada da seguinte maneira (Varlet-Grancher et al., 1989):

$$RFA_{int} = RFA_{inc} - RFA_{ts} \quad [13]$$

A parcela de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA_a) pela cultura, através da seguinte equação (Varlet-Grancher et al., 1989):

$$RFA_a = RFA_{inc} + RFA_{rs} - RFA_{rsc} - RFA_{ts} \quad [14]$$

sendo RFA_a a radiação fotossinteticamente ativa absorvida, RFA_{inc} a radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel, RFA_{rs} a radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo, RFA_{rsc} a radiação fotossinteticamente ativa acima do dossel de plantas refletida pelo solo e pela cultura e RFA_{ts} a radiação fotossinteticamente ativa transmitida pela cultura até a superfície do solo.

Os dados de radiação solar global, RFA incidente, RFA interceptada e RFA absorvida foram coletados a cada 30 minutos e então, fez-se a média diária a qual foi representada graficamente.

Pela falta de dados de radiação refletida pelo solo e pela cultura durante a primeira época, em que não havia sensores instalados para esta função, e pela falta de alguns dados durante a segunda época, devido a problemas com a bateria do “datalogger”, foi utilizada somente a RFA_{int} para avaliar a eficiência de uso da RFA da cultura do tomateiro.

3.8.5 Eficiência de interceptação (ϵ_{int}) e coeficiente de extinção (k)

A eficiência de interceptação (ϵ_{int}) da radiação fotossinteticamente ativa pela cultura foi estimada a partir da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}), calculada pela equação 13, e do total incidente sobre o dossel (RFA_{inc}) pela expressão:

$$\epsilon_{int} = \frac{RFA_{int}}{RFA_{inc}} \quad [15]$$

Os resultados de eficiências de interceptação da RFA, para cada tratamento e para cada ciclo, foram relacionados com dados de IAF diário para estimar o coeficiente de extinção da população de plantas. Esta estimativa foi efetuada pelo ajuste do coeficiente angular da função linear, baseada na lei de Beer, adaptada por Monsi & Saeki (1953):

$$\ln(1 - \epsilon_{int}) = -b \text{ IAF} \quad [16]$$

O modelo que estima a eficiência de interceptação (ϵ_{int}) em função do índice de área foliar (IAF) foi ajustado a partir de dados do IAF obtidos a cada semana (primeiro ciclo) ou a cada quinze dias (segundo ciclo), com a eficiência de interceptação média dos dias anteriores e posteriores à amostragem, para todo o conjunto de dados. Como, normalmente, as plantas eram coletadas nas quartas-feiras, utilizava-se a média da eficiência desde o domingo que antecedia a amostragem até o sábado posterior à amostragem. Foi feito isso, com o intuito de se obter a eficiência de interceptação (ϵ_{int}) média da semana.

Os modelos que estimam a eficiência de interceptação (ϵ_{int}) em função do índice de área foliar (IAF) para cada ambiente foram ajustados da mesma forma que o modelo de todo o conjunto de dados. Sendo que cada ambiente utilizava dados das duas épocas de cultivo.

3.8.6 Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa

O peso de matéria seca da parte aérea (g m^{-2}) se ajustou a um modelo linear, em função da RFA interceptada acumulada (g mol^{-1}). O coeficiente angular da equação linear obtida representa a eficiência com que a população de plantas transforma a energia fotossinteticamente ativa interceptada em biomassa constituinte da parte aérea, conhecida como eficiência de uso da RFA interceptada. A eficiência de uso da radiação foi estimada para cada tratamento (CT, ST e FE) e para os dois ciclos da cultura do tomateiro.

3.8.7 Fotossíntese das folhas de tomateiro

Foram efetuadas medições da taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) através de um analisador da marca LI-COR (modelo LI- 6400 Portable Photosynthesis System), nos dias 02/12/99 (45 DAT), 22/12/99 (65 DAT) no primeiro ciclo, e nos dias 16/03/2000 (29 DAT) e 27/04/2000 (61 DAT), do segundo ciclo. Utilizou-se uma fonte luminosa artificial $1800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de radiação fotossinteticamente ativa e a concentração ambiente de CO_2 .

No dia 02/12 mediu-se a fotossíntese de seis plantas por ambiente, utilizando-se folhas intermediárias. Nos dias 22/12, 16/03 e 27/04 as medidas

foram feitas em três plantas por ambiente, sendo que, em cada planta fez-se a leitura em três estratos do dossel (folhas superiores, intermediárias e inferiores). Todas as leituras foram efetuadas em folhas que estavam expostas à radiação solar direta.

Para o cálculo da fotossíntese por planta utilizou-se a área foliar das três plantas amostradas, multiplicando-as pela taxa fotossintética média das folhas intermediárias, considerando-se que o estrato intermediário é o que possui maior superfície foliar, as folhas são jovens e estão completamente expandidas e por isso, são mais representativas.

3.9 Análise estatística

Para justificar a existência da correspondência funcional entre os pares de dados fez-se a aplicação da análise de regressão, com utilização de gráficos de dispersão dos dados e de planilhas eletrônicas. As análises de determinação foram efetuadas com auxílio do “software” Sigmaplot, versão 4.0.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Radiação solar, temperatura e umidade do ar durante o período experimental

A radiação solar global (R_g), ocorrida nos períodos de 18/10/1999 a 03/02/2000 (primeira época) e 15/02/2000 a 02/06/2000 (segunda época) está representada na Figura 3A, cujos valores são apresentados no Apêndice 2. Observa-se, na Tabela 1, que o fluxo da radiação global foi maior durante a primeira época (primavera-verão), tendo média de $22,74 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Na segunda época (verão-outono) a radiação global média durante o experimento ficou em $14,61 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Nos mesmos períodos, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) teve comportamento similar ao da radiação global (Figura 3B e Apêndice 2). A média da primeira época foi de $37,29 \text{ mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e na segunda época foi de $24,81 \text{ mol m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Considerando valores médios por período (Tabela 1), durante a primeira época da cultura, a redução média da RFA foi, de 27,3% no interior da estufa sem tela (ST) e 32,5% na estufa com tela (CT), em relação àquela incidente a céu aberto. Na segunda época esta redução foi de 30,4 e 35,9%, para ST e CT, respectivamente. A maior redução na segunda época pode ser

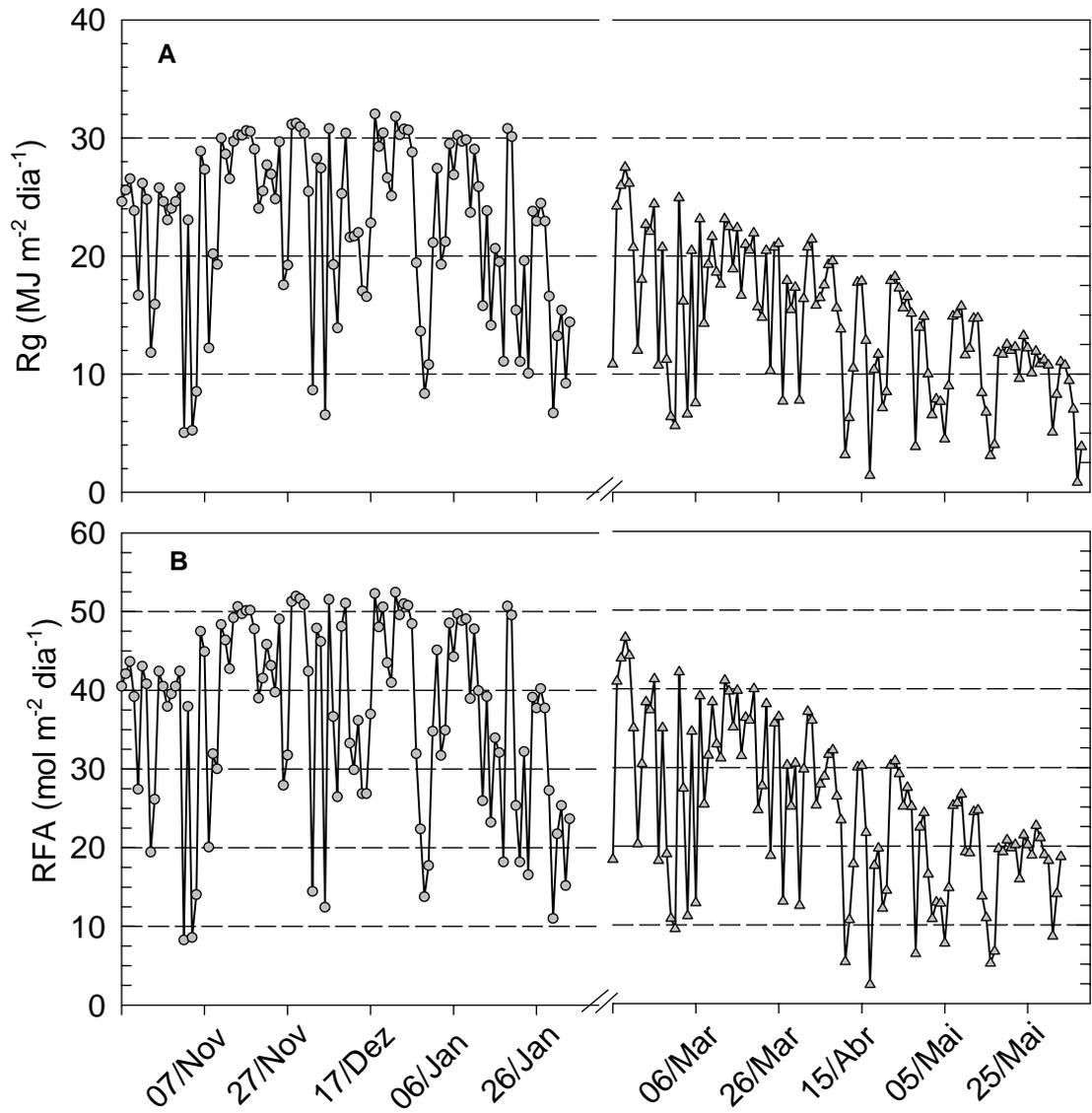


FIGURA 3. Radiação solar global incidente (Rg) (A) e radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) (B) na parte externa à estufa, durante duas épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS. 1999/2000.

atribuída, dentre outros fatores, à maior inclinação dos raios solares sobre a cobertura plástica, que tende a aumentar a reflexão da radiação incidente e, com isso, reduzir a radiação transmitida para o interior da estufa. A redução na transmissividade da radiação foi maior na CT, o que pode ser devido à presença da tela branca anti-insetos nas faces laterais, a qual também reduz a entrada de radiação, além da cobertura plástica superior.

TABELA 1: Radiação solar global média (Rg) e radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) média nos ambientes com tela (CT), sem tela (ST) e fora da estufa (FE), nas primeira e segunda épocas do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul /RS, 1999/2000.

	Primeira época ¹		Segunda época ²	
	Rg MJ m ⁻² dia ⁻¹	RFA mol m ⁻² dia ⁻¹	Rg MJ m ⁻² dia ⁻¹	RFA mol m ⁻² dia ⁻¹
FE	22,74	37,29	14,61	24,81
CT	-	25,18	-	15,90
ST	-	27,10	-	17,27

¹ Primeira época: de 18/10/99 a 03/02/00.

² Segunda época: de 15/02/00 a 07/06/00.

Na Figura 4 está representada a temperatura do ar média diurna, durante as duas épocas de cultivo do tomateiro. Na primeira época (primavera-verão) a temperatura do ar se manteve mais elevada do que na segunda época (verão-outono), seguindo a tendência da radiação solar incidente. Na primeira época, a temperatura esteve quase sempre acima de 25°C, decrescendo gradualmente na segunda época de cultivo. Foi representada graficamente somente a temperatura do período diurno, pois é quando ocorrem as maiores diferenças entre os ambientes. Em conformidade com Folegatti et al. (1997) as temperaturas máximas foram as que apresentaram maiores diferenças, sendo

que as mesmas foram 14,8% maiores no interior quando comparada com as temperaturas máximas do exterior da estufa, e as temperaturas mínimas apresentaram diferença de 5,9%, ou seja, as temperaturas observadas no período diurno são as que apresentaram maiores diferenças. No período noturno as diferenças são menores. Buriol et al. (1993) relatam que as temperaturas mínimas do ar no interior de estufas cobertas com polietileno tendem a ser iguais ou ligeiramente superiores as apresentadas no exterior da estufa. As temperaturas médias diárias, máximas e mínimas ocorridas durante o dia estão no Apêndice 3.

Comparando as temperaturas do ar nos diferentes ambientes, observa-se que, de um modo geral, as médias diurnas na estufa com tela (CT) foram iguais ou superiores àquelas dos ambientes sem tela (ST) e fora da estufa (FE), sendo que nesse último tratamento a temperatura do ar sempre se manteve inferior aos demais. Estes resultados concordam com Buriol et al. (1997) e Segovia et al. (1997), que encontraram, em túneis plásticos e em estufas, temperaturas do ar sempre superiores àquelas observadas a céu aberto. Segundo esses autores, o maior efeito sobre as temperaturas diurnas é devido à retenção do ar aquecido no ambiente interno ao plástico.

A maior diferença entre os ambientes foi observada durante a primeira época, quando a disponibilidade de radiação solar foi maior, aumentando a temperatura do ar e, com isso, as diferenças entre os ambientes interno e externo à estufa. Na segunda época as temperaturas foram menores, o mesmo acontecendo com as diferenças térmicas entre os ambientes, como pode ser observado na Figura 4.

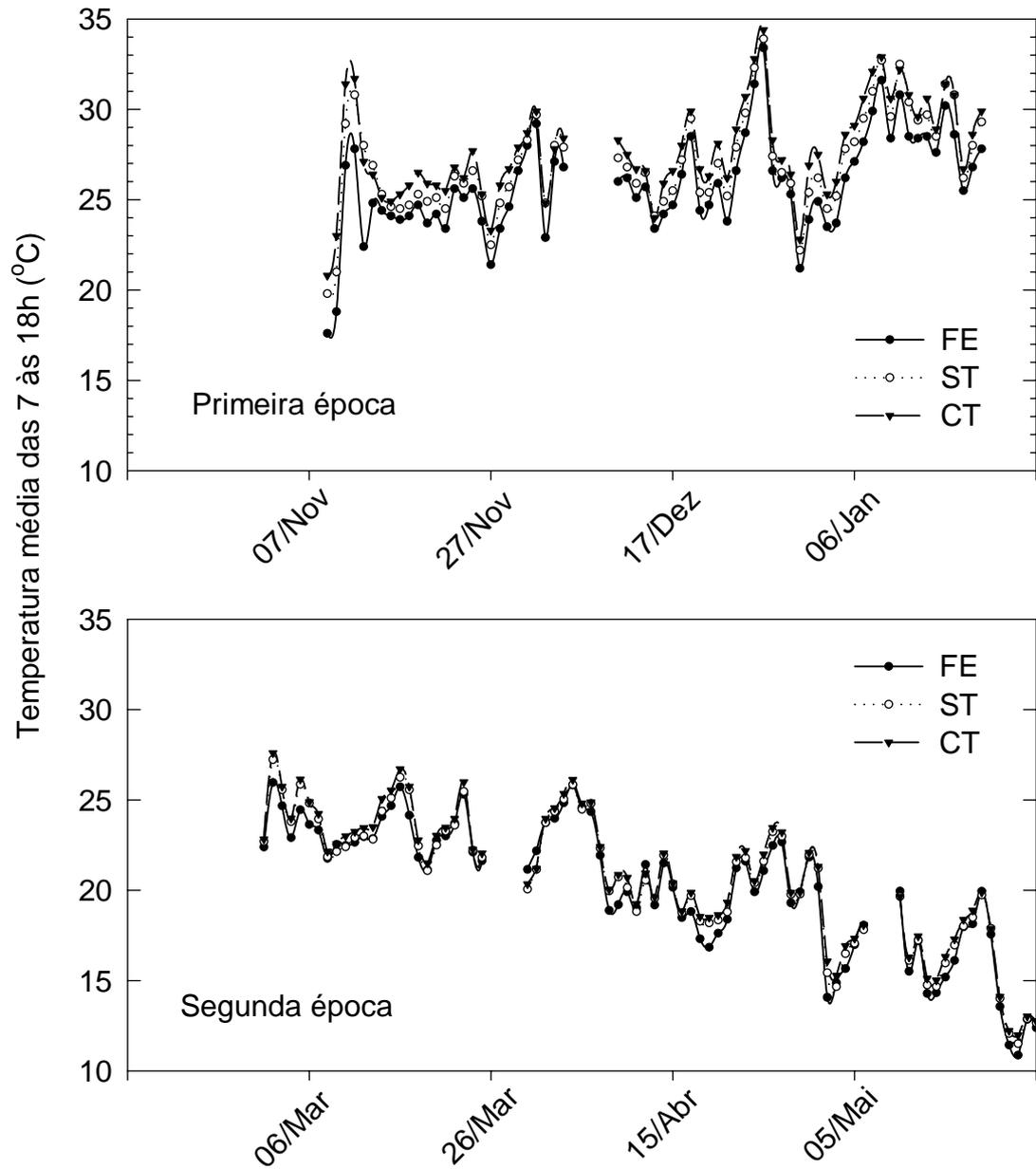


FIGURA 4. Temperatura média diurna do ar observada dentro da estufa com tela (CT), da estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE), durante duas épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

De maneira geral, a umidade relativa do ar foi menor durante a primeira época, quando comparada a segunda época (Figura 5). Este comportamento é justificado pela maior temperatura do ar (Figura 4 e Apêndice 3) ocorrida durante a primeira época, provocando diminuição na umidade relativa dos três ambientes. A redução da temperatura do ar, ocorrida durante a segunda época, provocou aumento da umidade relativa do ar, quando comparada a primeira época.

A umidade relativa do ar na estufa com tela (CT) sempre foi superior àquela da estufa sem tela (ST) e do ambiente fora da estufa (FE), mesmo havendo temperaturas mais altas nos ambientes de estufa. No início dos experimentos, quando a cultura estava pouco desenvolvida, as diferenças na umidade relativa do ar entre os ambientes foram pequenas até aproximadamente 50 dias após o transplante (DAT) na primeira época e até, cerca de 20 DAT na segunda época. À medida em que as plantas cresceram, as diferenças na umidade relativa do ar se tornaram maiores. Segundo Farias (1991), quando a cultura está crescida ocorre liberação de maior quantidade de vapor d'água através da transpiração, provocando aumento da tensão de vapor d'água interna e, conseqüentemente, da umidade relativa do ar no interior da estufa. Pezzopane et al. (1995) observaram que a umidade relativa do interior da estufa foi superior àquela observada no ambiente externo, mesmo apresentando valores mais elevados de temperatura do ar, em função da maior pressão de vapor d'água. Ao comparar a umidade relativa do ar no interior e fora de uma estufa, ao longo do ciclo da cultura de alface, Segovia et al. (1997)

também encontraram valores de umidade sempre superiores no interior da estufa.

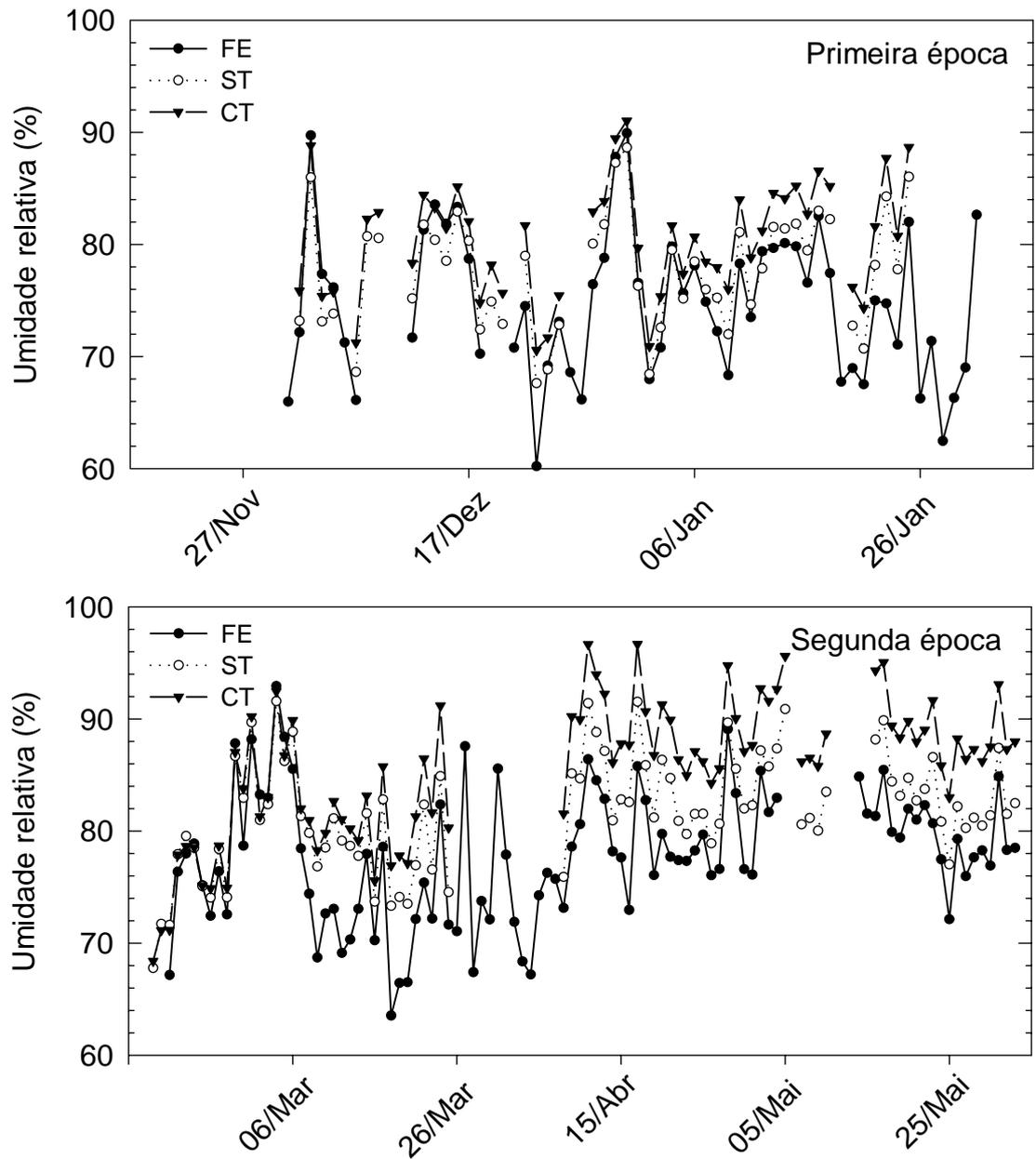


FIGURA 5: Umidade relativa média diária do ar observada dentro da estufa com tela (CT), da estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE), durante duas épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Observa-se, também, que as diferenças de umidade relativa do ar, entre os ambientes, foram maiores durante a segunda época. Neste período, a diferença na temperatura do ar entre os ambientes foi mínima (Figura 4 e Apêndice 3), podendo então essas diferenças serem atribuídas às maiores diferenças na umidade absoluta (Apêndice 5). Na primeira época também havia maior umidade no interior da estufa, mas a diferença da temperatura do ar entre os ambientes também era maior, e isso conduziu a menores diferenças entre os ambientes.

A radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA_a) e a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) tiveram padrão de variação similar (Figura 6A). Ajustando-se um modelo de regressão para as médias de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA_a) em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) (Figura 6B), com os dados do ambiente com tela (CT), durante a segunda época, observa-se uma relação direta e linear, com um coeficiente angular de 0,90. Portanto, cerca de 10% da RFA_{int} não foi absorvida pela cultura, representando a porção refletida. Esta diferença entre a RFA_a e a RFA_{int} está na RFA refletida pelo solo e pela cultura, a qual foi medida acima do dossel, e que é considerada como radiação perdida. Russel et al. (1989) também observaram que a diferença entre a RFA_a e a RFA_{int} está na radiação refletida pela cultura. A radiação refletida pelo solo é praticamente nula quando o dossel está completo e cobre a superfície do terreno.

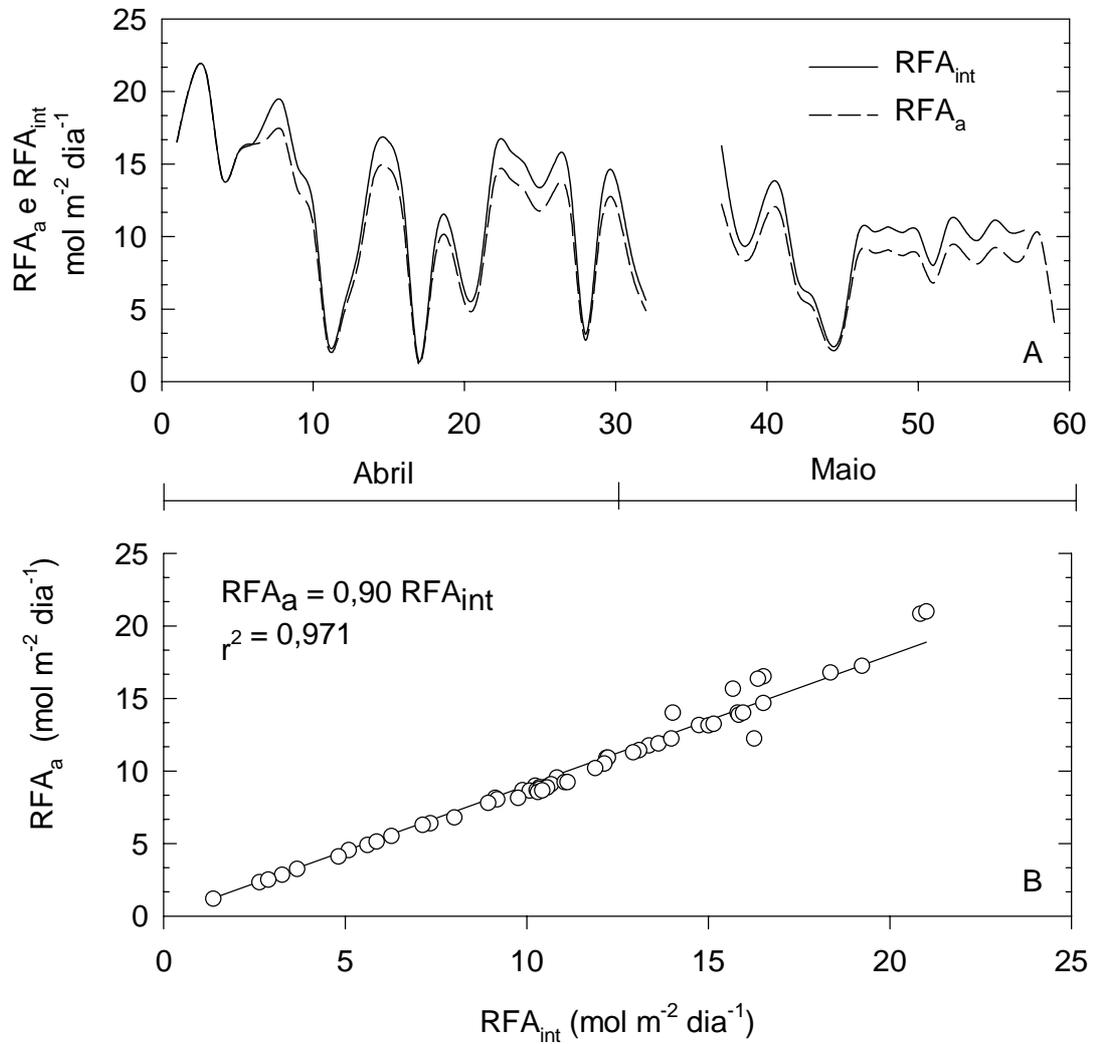


FIGURA 6. Médias diárias de radiação fotossinteticamente ativa absorvida (RFA_a) e radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) durante a segunda época do tomateiro (A) e relação entre RFA_a e RFA_{int} (B), no ambiente de estufa com tela (CT). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Varlet-Grancher et al. (1989) encontraram uma parcela de 13% de RFA não absorvida, em relação à RFA interceptada por um dossel de tomateiro em casa-de-vegetação. Este valor (10%) é superior ao encontrado por Müller (2001) com a cultura de milho, que foi de 7,6%, na Depressão Central do Rio Grande do Sul, mas em condições de campo. Estas diferenças observadas entre valores encontrados nas culturas do tomateiro e do milho podem ser explicadas por diferenças de arquitetura dessas culturas. O milho é uma cultura aberta e tem folhas mais eretas do que a cultura do tomateiro, que possui folhas mais planas e forma um dossel mais fechado. Com isso, a cultura do milho consegue absorver mais radiação e, por consequência, refletir menos.

Nas etapas seguintes deste trabalho foi utilizada a radiação interceptada, para analisar a eficiência de uso da radiação da cultura do tomate, tomando por base a linearidade existente entre RFA_a e RFA_{int} . O cálculo do balanço de radiação absorvida pela cultura não foi possível durante a primeira época e, em alguns dias da segunda época, bem como nos ambientes FE e ST, por falta de dados de radiação fotossinteticamente ativa refletida pelo solo e pela cultura. Segundo Varlet-Grancher et al. (1989), o balanço de radiação fotossinteticamente ativa (RFA) completo, que permite calcular a radiação absorvida, raramente é usado, pois a maioria dos autores não dispõem de dados da radiação refletida pelo solo e pela cultura (Equação 14). Por esta razão, a maioria dos trabalhos, consideram somente a radiação interceptada (Equação 13) ao analisar o crescimento de uma cultura através da radiação solar, a menos que se conheça a absortividade das folhas, quando, então, pode-se calcular a RFA_a a partir da RFA_{inc} . A absortividade das folhas

situa-se entre 80 a 90% da RFA incidente para a maioria das culturas (Heuvelink, 1996; Rosati et al., 2001). Por outro lado, cuidados devem ser tomados se for usada a absorvidade da folha para calcular a radiação absorvida, pois esta varia com a idade da folha, posição dentro do dossel e conteúdo de nitrogênio. A absorvidade das folhas, portanto, não é homogênea.

Durante as duas épocas de cultivo do tomateiro a RFA incidente fora da estufa foi sempre superior à RFA incidente dentro da mesma (Figura 7). No interior da estufa sem tela anti-insetos (ST) a RFA incidente permaneceu ligeiramente superior àquela do interior da estufa com a tela (CT), como está demonstrado pela média de todo o período, na Tabela 1. A diminuição da radiação no interior da estufa (CT e ST) é devido à parcial opacidade do filme de polietileno transparente de baixa densidade (PTBD), o qual impede a entrada de parte da radiação (Cermeño, 1994; Farias et al., 1993).

Proporcionalmente, a redução da radiação fotossinteticamente ativa incidente no interior da estufa foi maior do que a incidente na parte externa da estufa na segunda época da cultura, em relação a primeira época. No segundo período foi observada maior ocorrência de condensação do vapor d'água na superfície interna do filme da cobertura, no início da manhã, devido à maior umidade relativa do ar nessa época (Figura 5), que teve menor temperatura do ar (Figura 4).

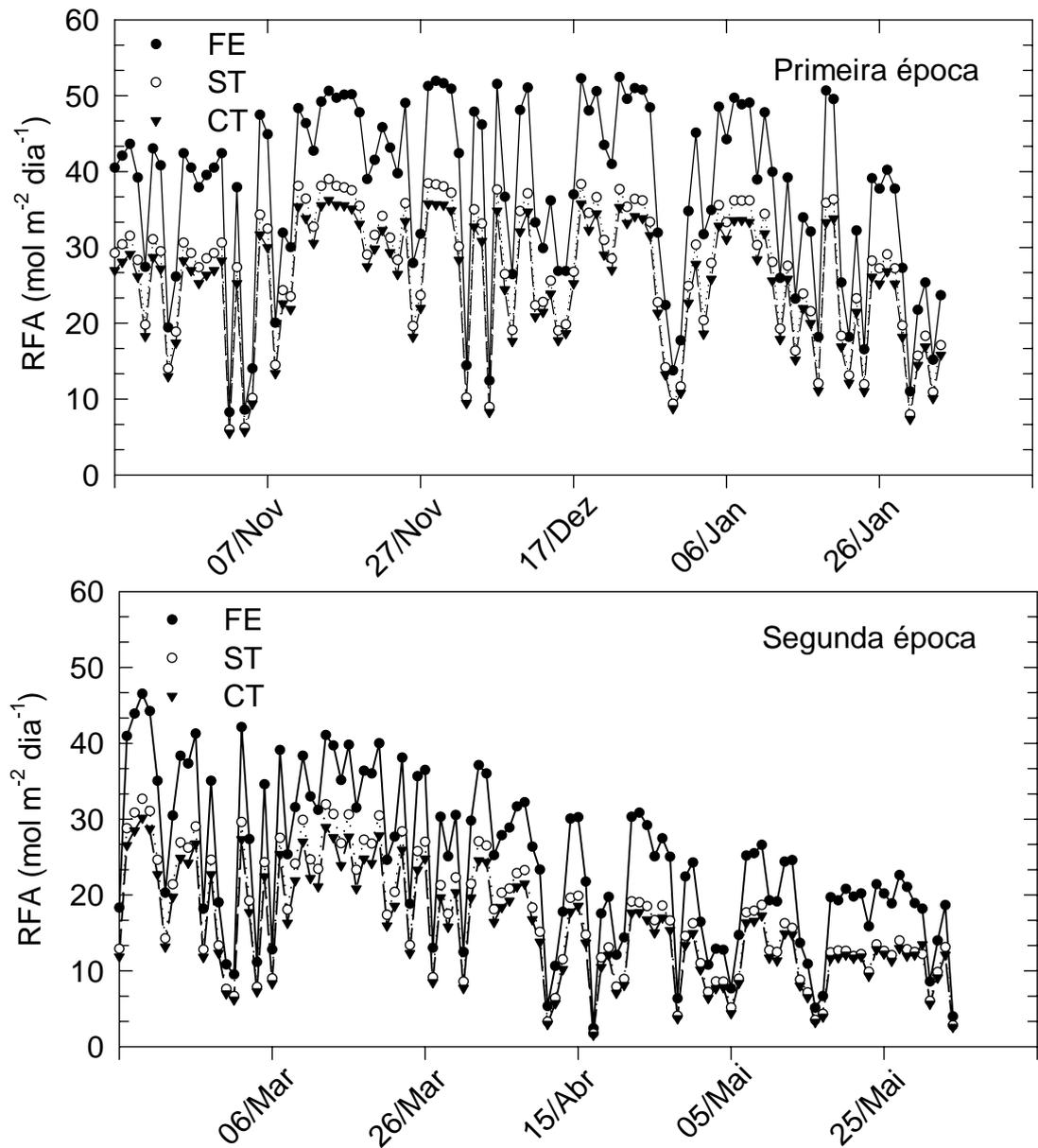


FIGURA 7. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) durante as primeira e segunda épocas do tomateiro, dentro de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Segundo Draoui (1990), citado por Andriolo (1999), a condensação forma gotículas refratam os raios solares em diversas direções, sendo que uma parte da radiação é refletida de volta para a atmosfera. Conseqüentemente, a transmissividade do material de cobertura pode ser reduzida em até 50% pela camada de condensação. Em trabalho realizado por Pollet & Pieters (1999), em laboratório, também foi observado que o filme de polietileno reduz a radiação, refletindo e absorvendo em torno de 26% da RFA, e que esta redução da RFA aumenta em aproximadamente 15%, se houver condensação. Com isso, somente 59% da radiação era transmitida através do filme quando havia condensação.

A redução da entrada de radiação para o interior da estufa, da primeira para a segunda época, pode também ser atribuída ao progressivo envelhecimento do filme de polietileno e ao acúmulo de poeiras sobre o mesmo, como observaram Farias et al. (1993) e Camacho et al. (1995).

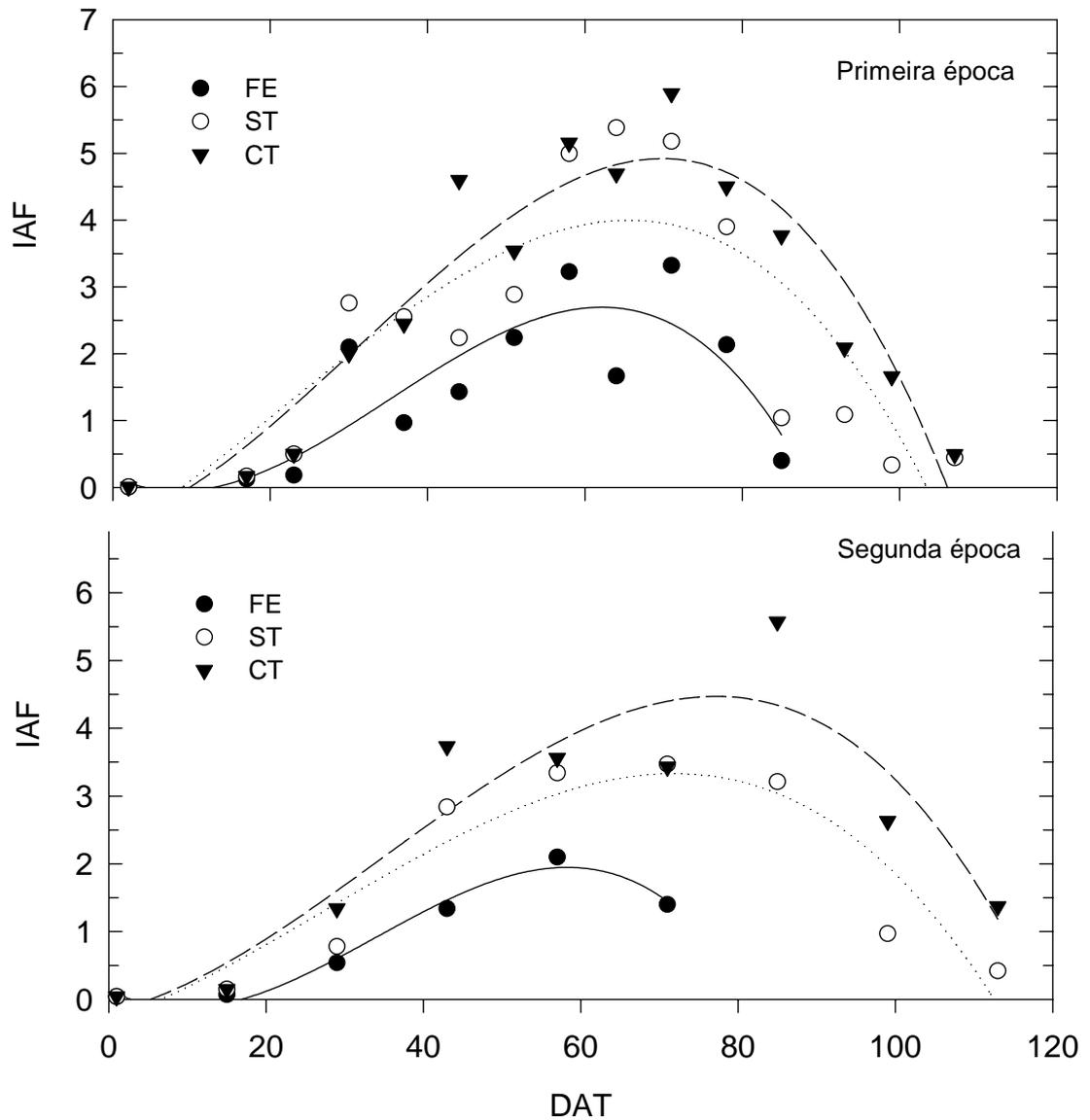
A radiação fotossinteticamente ativa incidente durante a primeira época (Figura 7A) permaneceu mais elevada do que na segunda época (7B), praticamente durante todo o período. Este fato pode ser devido à diferença de inclinação dos raios solares entre as duas épocas, concordando com Pollet & Pieters (1999), segundo os quais há redução gradual da radiação com o aumento do ângulo zenital, pois ocorre maior reflexão e, conseqüentemente, menor transmitância da radiação para o interior da estufa. Também se observa que houve maior oscilação da radiação fotossinteticamente ativa na segunda época, provavelmente devido ao maior número de dias com nebulosidade.

4.2 Índice de área foliar (IAF) e área foliar específica (AFE)

O índice de área foliar (IAF) sempre foi superior nos ambientes de estufa com tela (CT) e de estufa sem tela (ST) e menor no ambiente externo à estufa (FE) (Figura 8 e Apêndice 6).

A diferença na disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa entre os ambientes de estufa, comparada com a parte externa da estufa, variou entre 27 e 36% aproximadamente, tendo sua maior redução no ambiente com tela (CT). Esta diferença na disponibilidade de radiação entre os ambientes pode explicar as diferenças de área foliar. As folhas que estão nos ambientes de estufa podem ser consideradas folhas “de sombra”. Em geral estas folhas têm maior superfície e são mais finas do que as folhas que estão expostas ao sol. As chamadas “folhas de sol” são mais espessas do que as sombreadas, pois formam células paliçádicas mais largas ou apresentam uma camada adicional destas células (Boardman, 1977; Salisbury & Ross, 1994; Lambers et al., 1998).

Em trabalho realizado por Gautier et al. (1997) com trevo branco, analisando somente a redução de radiação na faixa do azul (350-500nm), mantendo as outras faixas de comprimento de onda similares entre os tratamentos, foram observados aumentos na altura das plantas e na área foliar. As folhas tornaram-se mais finas e com maior área foliar específica (AFE), em relação a um tratamento sem redução de radiação azul. Assim, presume-se que a redução da RFA no interior dos ambientes de estufa reduziu também a radiação na faixa do azul, podendo ter contribuído para o aumento do IAF nestes ambientes.



Primeira época

$$\text{FE: IAF} = 0,16569 - 0,05501\text{DAT} + 0,00374\text{DAT}^2 - 0,00003\text{DAT}^3 \quad (r^2 = 0,71) \quad [17]$$

$$\text{ST: IAF} = -0,71185 + 0,07326\text{DAT} + 0,00105\text{DAT}^2 - 0,00001\text{DAT}^3 \quad (r^2 = 0,71) \quad [18]$$

$$\text{CT: IAF} = -0,56879 + 0,03527\text{DAT} + 0,00228\text{DAT}^2 - 0,00002\text{DAT}^3 \quad (r^2 = 0,89) \quad [19]$$

Segunda época

$$\text{FE: IAF} = 0,13953 - 0,05949\text{DAT} + 0,00364\text{DAT}^2 - 0,00003\text{DAT}^3 \quad (r^2 = 0,98) \quad [20]$$

$$\text{ST: IAF} = -0,32169 + 0,04197\text{DAT} + 0,00095\text{DAT}^2 - 0,00001\text{DAT}^3 \quad (r^2 = 0,87) \quad [21]$$

$$\text{CT: IAF} = -0,18958 + 0,02766\text{DAT} + 0,00163\text{DAT}^2 - 0,00001\text{DAT}^3 \quad (r^2 = 0,84) \quad [22]$$

FIGURA 8. Índice de área foliar (IAF) durante duas épocas de cultivo do tomateiro, em estufa com tela (CT), em estufa sem tela (ST) e em ambiente externo a estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Outro fator que pode estar envolvido na diferença entre o IAF dos ambientes é a umidade do ar. Nos ambientes de estufa a umidade relativa do ar (Figura 5) e a umidade absoluta (Apêndice 5), em geral, foram maiores. Com isso, o potencial da água na folha pode ter se mantido maior, o que também pode explicar uma maior área foliar nestes ambientes (Gislerod & Mortensen, 1991). Acevedo et al. (1971) atribui à água o papel direto na expansão celular, ou seja, a água exerce pressão nas paredes celulares provocando a expansão da superfície foliar. O potencial da água na folha depende da demanda evaporativa e da disponibilidade de água no solo. Mas, durante os dois experimentos não ocorreu deficiência de água no solo em nenhum dos tratamentos, conforme pode ser observado através do potencial matricial da água no solo (Apêndice 7). Então, variações no potencial da água na folha podem ter ocorrido, em razão das alterações na demanda evaporativa atmosférica.

Assim, todos os fatores anteriormente mencionados podem ter contribuído, conjuntamente, para o aumento da área foliar, nos ambientes de estufa com tela (CT) e de estufa sem tela (ST). Entretanto, considera-se que o fator mais significativo nas mudanças das características da folha, tenha sido a redução na disponibilidade da radiação solar nos ambientes de estufa.

A área foliar específica (AFE), que representa a razão entre a área foliar e a sua respectiva massa de matéria seca (Figura 9), foi maior nos ambientes de estufa com tela (CT) e sem tela (ST) onde ocorreu menor disponibilidade de radiação incidente. Isto concorda com resultados obtidos por diversos autores, os quais afirmam que as folhas que realizaram sua expansão

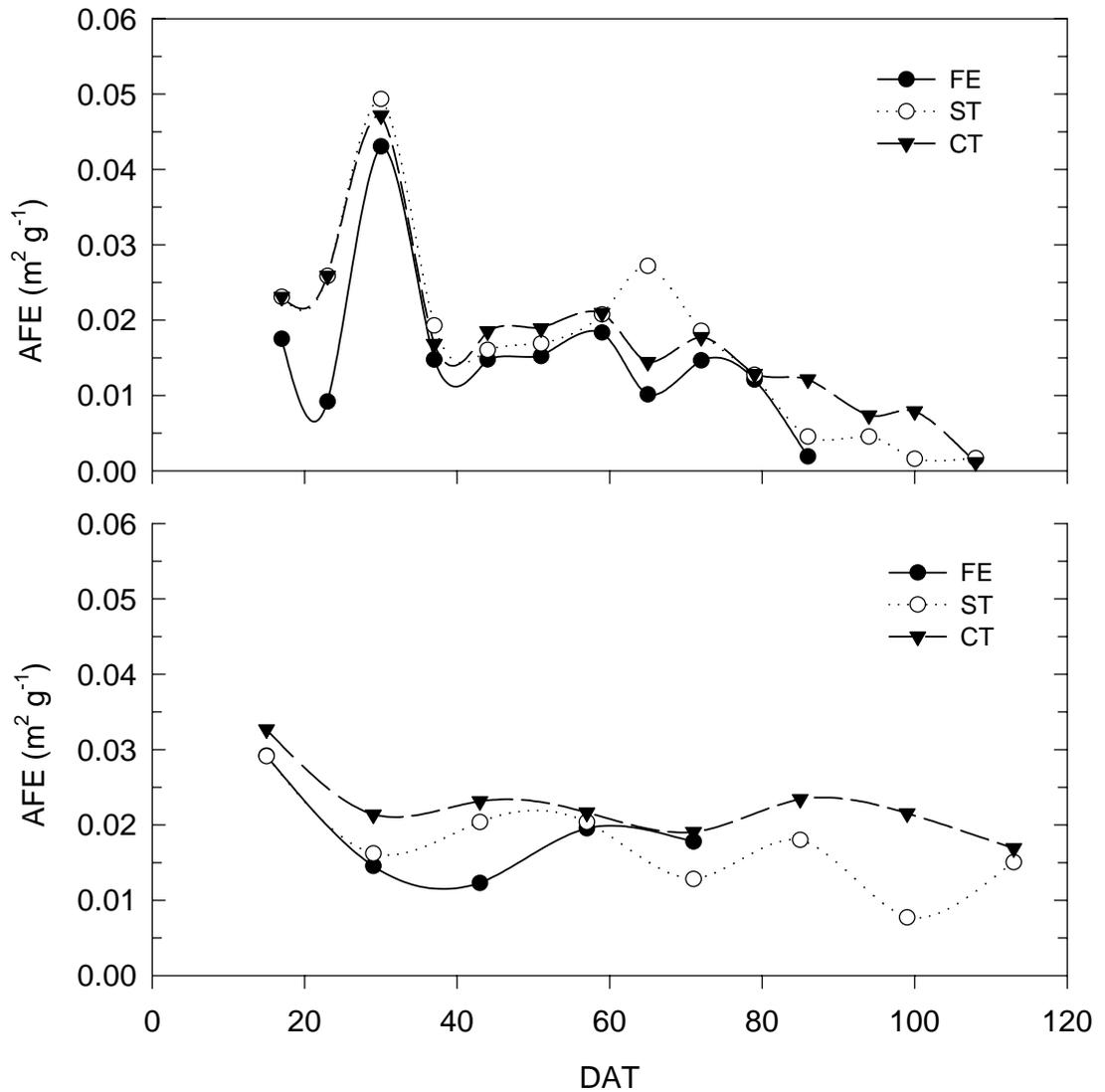


FIGURA 9. Área foliar específica (AFE) do tomateiro em função de dias após o transplante (DAT), em ambiente de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo a estufa (FE) em duas épocas de cultivo. CPVDF/FEPAGRO, Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

celular sob condições de baixa disponibilidade de radiação solar são mais finas e têm maior área foliar do que aquelas que se expandem sob condições de alta disponibilidade de radiação solar, mostrando aclimatação da cultura para o ambiente com menores níveis de radiação (Boardman, 1977; Charles-Edwards, 1979; Dale, 1988; Bertin & Gary, 1998; Rosati et al., 2001).

Bergamaschi et al. (1988) observaram, na cultura do feijoeiro, que a área foliar específica foi menor em períodos secos e com maior disponibilidade de radiação solar, sendo que o contrário ocorreu durante períodos chuvosos e com menor disponibilidade de radiação.

Com exceção do pico obtido na terceira amostragem da primeira época, observa-se uma tendência de queda da AFE com o passar do tempo, tanto no primeiro quanto na segunda época da cultura. Em algumas espécies, como o milho e o tomate, a AFE decresce em condições de alta disponibilidade de radiação solar por causa do acúmulo de amido nos cloroplastos (Charles-Edwards et al., 1986). Por isso, nem sempre o aumento do peso das folhas por unidade de área foliar está associado ao aumento da espessura da folha. Também foi observado que a AFE declina com a idade da folha. Com isso, pode-se inferir que o declínio da AFE, com o decorrer do tempo, foi devido ao acúmulo de material estrutural, acompanhando o envelhecimento das folhas.

Na Figura 9 observa-se que, a partir dos 70 DAT na primeira época, a AFE decresceu progressivamente até o final do ciclo, enquanto que, na segunda época, a cultura não apresentou este decréscimo da AFE. Esta resposta da cultura pode ocorrer em função da disponibilidade de radiação solar, que foi maior na primeira época e menor durante a segunda época

(Figura 3), principalmente se forem comparados os períodos finais do ciclo, concordando com Bergamaschi et al. (1988), Dale (1988) e Charles-Edwards et al. (1986). O decréscimo ao final da primeira época também pode ser atribuído ao acúmulo de amido nos cloroplastos, aumentando o peso das folhas.

Na segunda época a maioria das folhas do tomateiro ainda estava verde e havia poucas folhas em processo de senescência, fazendo com que o decréscimo na AFE não fosse evidente, em nenhum dos tratamentos. Em função da baixa temperatura, havia poucos frutos e estes eram muito pequenos, quando o ciclo foi interrompido. Por este motivo, o decréscimo acentuado da AFE, observado ao final da primeira época, não pôde ser observado na segunda época.

O pico de AFE observado na terceira amostragem da primeira época, não permite identificar uma causa imediata como, por exemplo, a diminuição da disponibilidade de radiação nos dias que antecederam a coleta das plantas. Possivelmente, essa variação acentuada nos resultados se deveu a problemas de amostragens.

Durante os duas épocas de cultivo do tomateiro ocorreram variações da AFE, que podem ser atribuídas a alterações na disponibilidade de radiação solar e à retirada de frutos dessas plantas. Bertin & Gary (1998) citam que reduções no número de drenos (frutos) provocam alterações na AFE das folhas de tomateiro. Estas variações coincidem, principalmente, com variações nos níveis de amido e hexose nas folhas (Hommond et al., 1984). Assim, com a retirada dos frutos ocorre maior acúmulo de fotoassimilados nas folhas, conduzindo a aumento no peso dessas folhas, com conseqüentes reduções na

área foliar específica. Na cultura do pepino, um aumento do peso da matéria seca das folhas (diminuição da AFE) foi induzido pela diminuição do número de drenos, sendo linearmente relacionado com o conteúdo de amido (Marcelis, 1991).

4.3 Eficiência de interceptação (ϵ_{int}) de RFA e coeficiente de extinção (k)

A capacidade que uma população de plantas tem em interceptar a radiação fotossinteticamente ativa incidente é considerada a eficiência de interceptação dessa população. Ela depende da magnitude da superfície de captação da radiação (área foliar), do ângulo foliar e da forma com que as folhas estão distribuídas no dossel. Portanto, o processo de interceptação da radiação varia no tempo, durante o ciclo de desenvolvimento da cultura, e no espaço, devido à distribuição espacial da área foliar (Gallagher & Biscoe, 1978).

Nas Figuras 10 e 11, verifica-se que a RFA interceptada pela cultura do tomateiro varia em função de sua área foliar, ao longo do tempo (DAT). Conforme Gallagher & Biscoe (1978) e Sivakumar & Virmani (1984), a RFA interceptada pelas culturas é estreitamente relacionada com o índice de área foliar.

A RFA interceptada foi menor no início dos ciclos, conseqüentemente mais radiação fotossinteticamente ativa foi transmitida até a superfície do solo, o que pode ser atribuído ao menor IAF nesse período. À medida em que aumentou o IAF da cultura do tomateiro, ocorreu aumento da

eficiência de interceptação até 40 a 50 dias após o transplante (DAT). A partir desse período, a cobertura vegetal cobria grande parte do solo e, com isso, ocorreu uma estabilização da eficiência de interceptação num limite máximo (Figura 11).

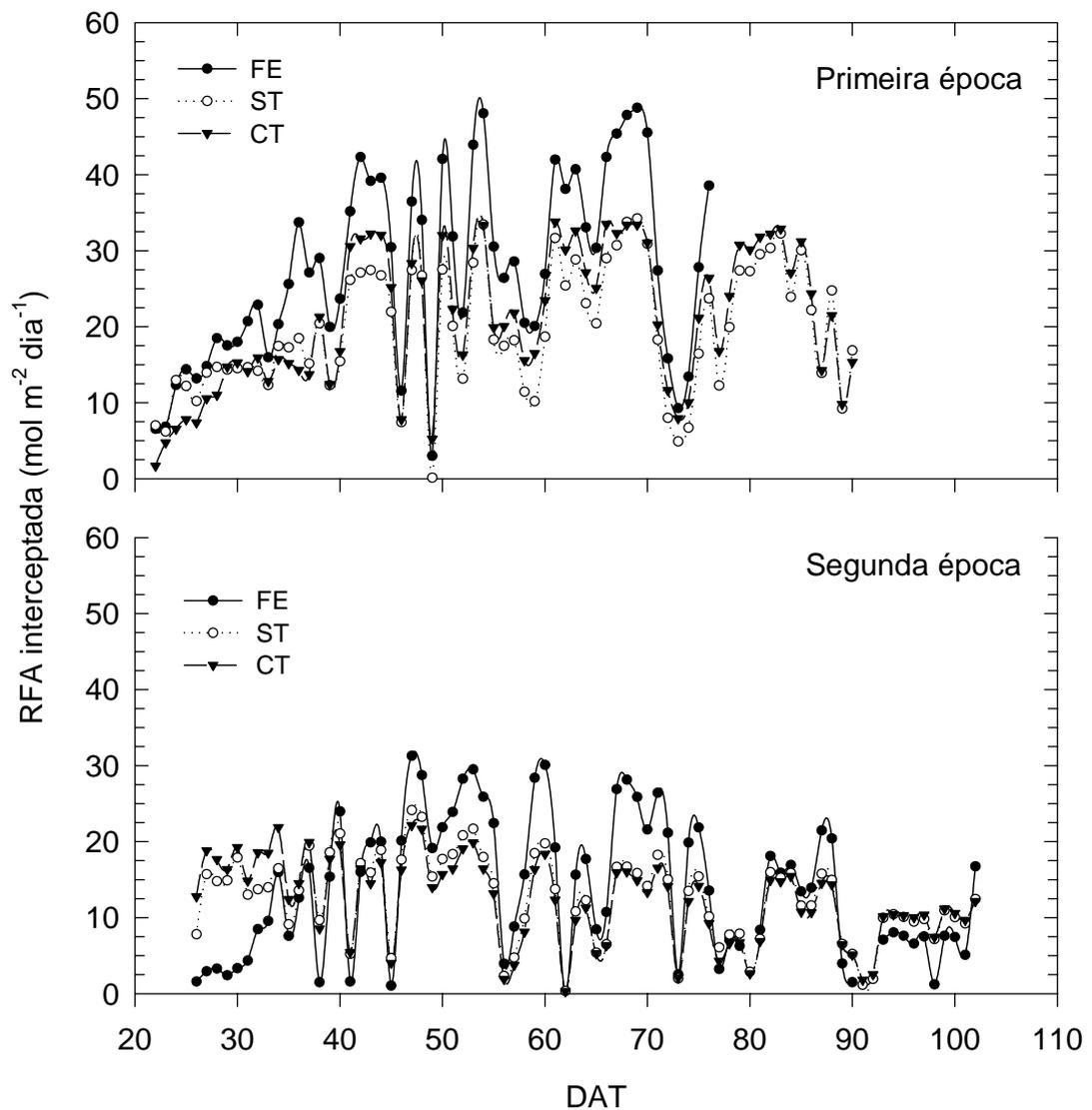


FIGURA 10. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFA_{int}) pela cultura do tomateiro em função de dias após o transplante (DAT), durante as primeira e segunda épocas, no interior da estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e na parte externa da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

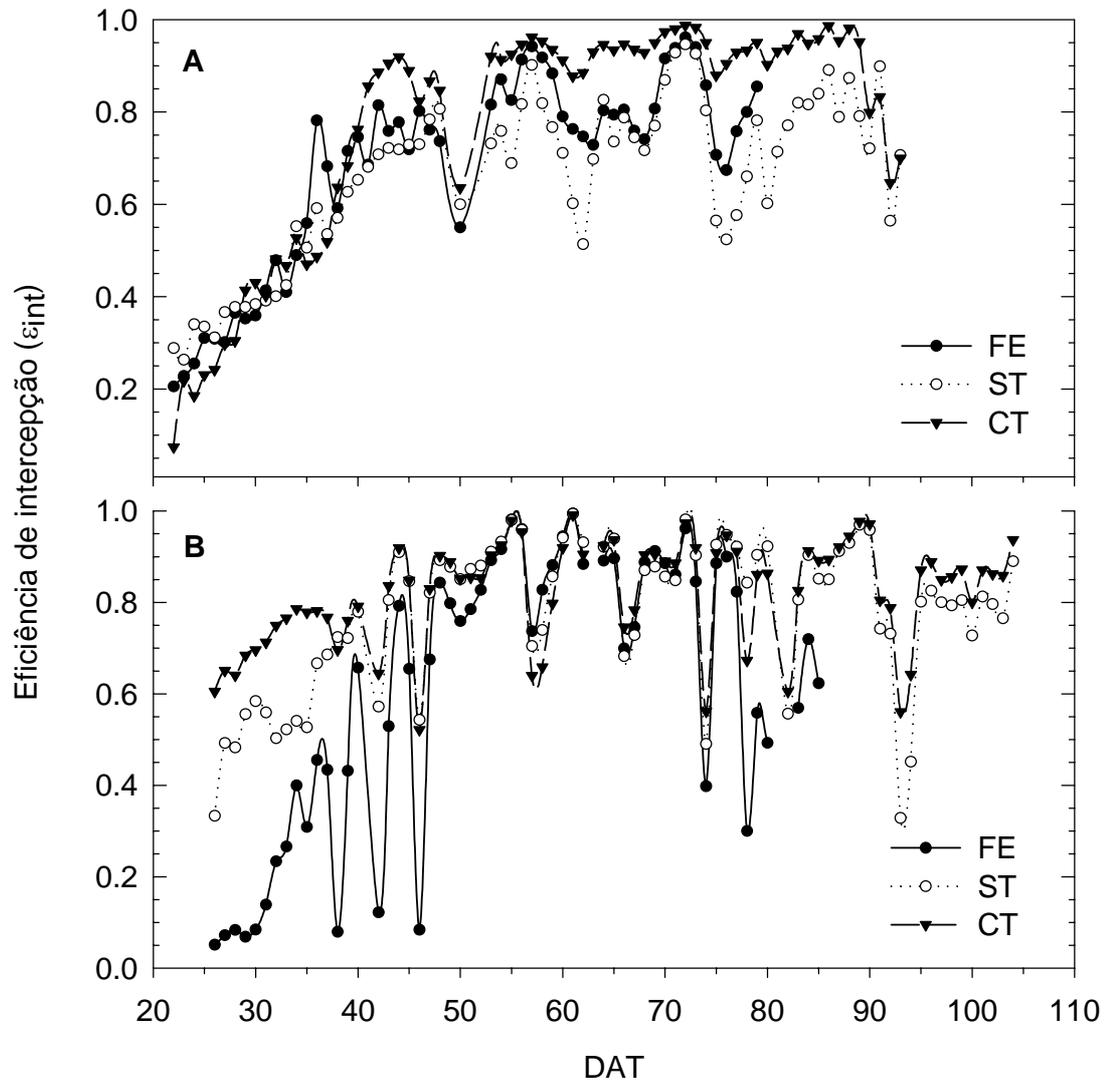


FIGURA 11. Eficiência de interceptação da radiação da radiação fotossinteticamente ativa nas primeira (A) e segunda (B) épocas de cultivo do tomateiro, em função de dias após o transplante (DAT), nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e na parte externa a estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Durante a primeira época a quantidade de radiação interceptada pela cultura do tomateiro, permaneceu sempre mais elevada no ambiente externo à estufa (Figura 10), e a disponibilidade de radiação solar incidente neste ambiente também foi sempre superior aos demais ambientes (Figura 7). Entretanto, em termos relativos de radiação fotossinteticamente ativa incidente que foi interceptada pelo dossel em cada ambiente, o ambiente de estufa com tela (CT) teve maior eficiência de intercepção do que os ambientes de estufa sem tela (ST) e do ambiente externo à estufa (FE), quando comparada em dias após o transplante, devido a maior área foliar do ambiente CT.

Folhas que se expandem em ambientes sombreados possuem uma porção relativamente maior de mesofilo esponjoso, em comparação ao paliçádico, com maiores espaços intercelulares, que propiciam maior espalhamento da radiação no interior da célula e aumentam a absorção da radiação nestas folhas (Lambers et al., 1998). No ambiente FE as folhas são mais espessas, podendo ter células paliçádicas maiores e, com isso, menores espaços intercelulares, sendo menos efetivas na absorção da radiação.

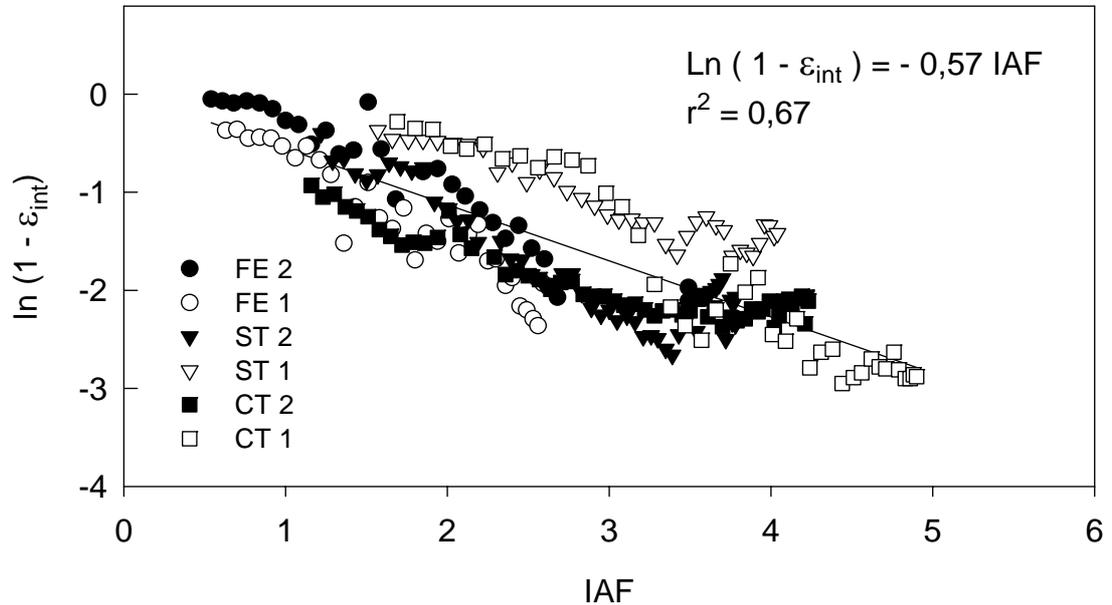
A maior variação na quantidade de radiação interceptada, segundo Warren Wilson et al. (1992), ocorre em dias claros, mais do que em condições de nebulosidade, já que em dias ensolarados existe maior diferença na disponibilidade de radiação entre os ambientes. Este fato ocorreu durante a primeira época, no qual, além de normalmente ter ocorrido maior disponibilidade de radiação solar, por estar no período primavera-verão, também houve menor número de dias com nebulosidade. Já na segunda época, quando o céu permaneceu encoberto por um período maior, a diferença

na disponibilidade de radiação entre os ambientes tornou-se menor, pela menor disponibilidade de radiação nessas condições, com isso diminuindo também a diferença da radiação interceptada entre os ambientes. Ricota & Avena (1997) observaram que, para um dia totalmente encoberto, a radiação incidente foi reduzida em cerca de quatro vezes, em comparação a um dia sem nuvens.

Segundo Monteith & Unsworth (1990), com o aumento da nebulosidade também aumenta a radiação difusa, em relação à radiação solar global. Mas, esta máxima relação é encontrada quando as nuvens cobrem aproximadamente 50%, ao passo que, se o céu estiver totalmente encoberto, a disponibilidade de radiação difusa decresce juntamente com o decréscimo da radiação solar.

Para fazer estimativas da eficiência de interceptação de radiação solar são necessários dois parâmetros relacionados à cultura: o índice de área foliar (IAF) e o coeficiente de extinção da radiação pelo dossel (K).

O coeficiente de extinção, pode ser estimado pelo coeficiente de regressão linear entre o termo $[\ln (1 - \varepsilon_{int})]$ e o índice de área foliar (IAF), derivado da equação da transmissividade adaptada da Lei de Beer. Para todo o conjunto de dados, dos três ambientes e dos dois ciclos de desenvolvimento da cultura do tomateiro o coeficiente de extinção médio foi de 0,57 (Figura 12). A variação entre os coeficientes encontrados em cada ambiente e em cada ciclo está representada no Apêndice 8.



(n = 250; $r^2 = 0,67$; $P < 0,0001$)

FIGURA 12. Relação entre $\text{Ln}(1 - \varepsilon_{\text{int}})$ e o índice de área foliar (IAF) em duas épocas (1 e 2) de cultivo do tomateiro, em ambiente de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e na parte externa à estufa (FE), sendo ε_{int} a eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Também com a cultura do tomateiro, Warren Wilson et al. (1992) encontraram coeficiente de extinção de 0,63, enquanto Bertin & Heuvelink (1993) obtiveram um valor médio de 0,80 em ambiente de estufa. Valores de aproximadamente 0,7 foram encontrados para a cultura do milho (Gosse, 1982; Müller, 2001). O dossel da cultura do tomateiro tem disposição de folhas predominantemente horizontais, possui folhas compostas grandes. Este tipo de dossel intercepta mais radiação por unidade de área foliar e, dessa forma, tem

maiores valores de k do que dosséis com folhas erectófilas, como é o caso do milho (Barni, 1994), aumentando a capacidade de interceptar a radiação fotossinteticamente ativa incidente. Entretanto, este valor relativamente baixo, encontrado no coeficiente de extinção, pode ser explicado pela menor eficiência de interceptação do tomateiro nesse experimento, em decorrência do arranjo em linhas pareadas. As plantas foram assim dispostas para que houvesse maior espaço a cada duas linhas, no sentido de facilitar a circulação dentro da cultura. Isto permitiu que uma maior parcela de radiação fotossinteticamente ativa fosse transmitida até a superfície do solo, provocando redução no coeficiente de extinção. Assim sendo, esta menor interceptação, em relação a uma cultura que possui distribuição contínua, pode ser atribuída aos espaços abertos entre as linhas. A diminuição do espaço entre as fileiras de plantas reduziria a radiação transmitida ao solo, mas isto dificultaria algumas práticas de manejo ou tratos culturais, que exigem a circulação de pessoas e alguns implementos no interior da cultura.

Trabalhando com a cultura da soja, que é uma espécie planófila, Confalone et al. (1999) encontraram um coeficiente de extinção de 0,75, que foi considerado um valor alto. Nesse mesmo trabalho foram analisadas as variações do coeficiente nas diferentes etapas fenológicas da soja, como também nas diferentes camadas do dossel. As diferenças não foram significativas, quando o dossel estava cobrindo a superfície do solo, indicando que um valor médio do coeficiente de extinção (k) pode ser adotado na quantificação da biomassa produzida, em função da radiação interceptada.

Através da Figura 12 e do Apêndice 8 observa-se que houve diferenças no coeficiente de extinção entre os ambientes. Os valores foram mais elevados no ambiente externo à estufa do que nos ambientes internos à mesma. Essa maior diferença pode ser atribuída à maior disponibilidade de radiação difusa no interior da estufa, em relação ao ambiente externo. Nos trabalhos desenvolvidos por Farias (1991) e Camacho et al. (1995) a radiação solar global no interior da estufa sempre foi menor do que aquela observada externamente. A radiação difusa ocorrida externamente foi inferior, na maior parte do período, correspondendo, em média, a 65% da observada internamente. Por este motivo, uma maior porção de radiação difusa pode explicar o menor coeficiente de extinção nos ambientes de estufa. Portanto, havendo mais radiação direta fora da estufa o coeficiente de extinção deve ser maior, enquanto que nos ambientes internos de estufas, devido à maior disponibilidade de radiação difusa, faz-se necessário maior IAF para se obter a mesma intercepção de energia.

Durante a segunda época (verão-outono), período com menor disponibilidade de radiação solar, houve maior número de dias nublados, com conseqüente aumento da fração de radiação difusa nos três ambientes. Com isso, os valores de coeficiente de extinção ficaram mais próximos, como pode ser observado na Figura 12 e no Apêndice 8.

Na Figura 13 está representada a eficiência de intercepção de RFA (ε_{int}) da cultura do tomateiro em função do índice de área foliar (IAF). Observa-se que, à medida em que aumenta o IAF a eficiência de intercepção da RFA aumenta exponencialmente. A inclinação da curva de ε_{int} , em IAF baixo, foi

mais acentuada na parte externa à estufa (FE) e menos acentuada nos ambientes de estufa sem tela (ST) e de estufa com tela (CT). Isto significa que, quando o IAF era baixo, a eficiência de interceptação se manteve maior no ambiente FE do que nos ambientes de estufa. No ambiente externo o coeficiente de extinção (k) foi maior durante a primeira época, quando comparado aos ambientes de estufa (Figura 12 e Apêndice 8). Esse maior k associado à maior disponibilidade de radiação solar e menor fluxo de radiação difusa, propiciou aumento mais acentuado na eficiência de interceptação da cultura.

Os ambientes de estufa (CT e ST) sempre apresentaram o coeficiente de extinção menor do que o ambiente fora da estufa (FE), observando-se dentro de cada época. Por isso, nesse ambiente, foi necessário maior IAF para uma mesma eficiência de interceptação, e isto pode ser atribuído à maior disponibilidade de radiação difusa que, por ser multi-direcional, penetra melhor entre as plantas, exigindo maior IAF para uma mesma eficiência de interceptação.

No ambiente externo à estufa (FE) e com IAF observado cerca de 3, a cultura do tomateiro chegou próximo de sua eficiência máxima (0,939) pelo modelo ajustado; no ambiente ST, com IAF maior de 3, a eficiência de interceptação chega próxima a máxima eficiência (0,818) e no ambiente CT a eficiência de interceptação chega próxima de sua eficiência máxima (0,957) nos maiores IAF observados.

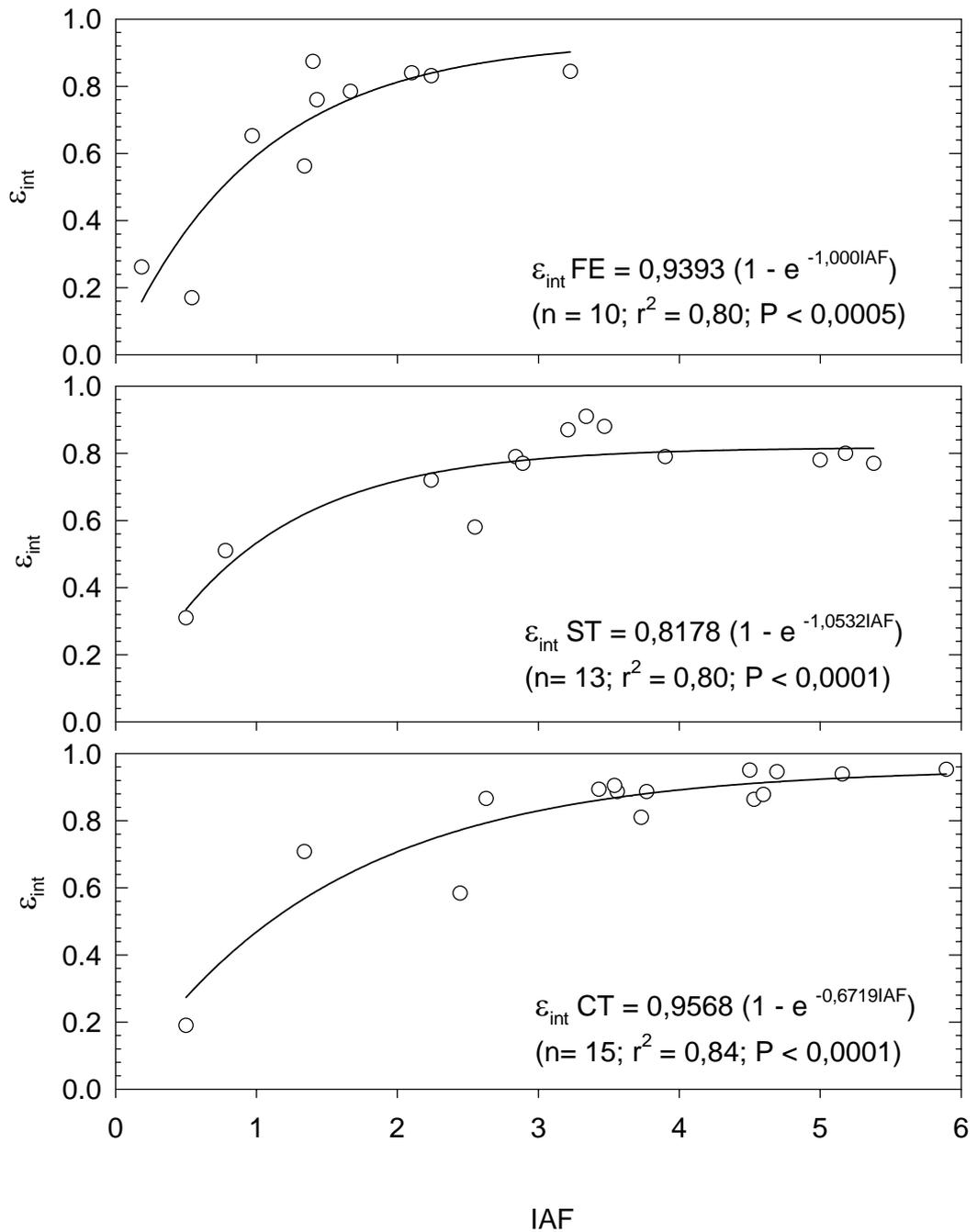


FIGURA 13. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (ϵ_{int}) observada em tomateiro em função do índice de área foliar (IAF), com dados das primeira e segunda épocas, em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Na Figura 14 está representado um modelo que estima a eficiência de interceptação (ϵ_{int}) da radiação fotossinteticamente ativa em função do IAF, para todo o conjunto de dados das duas épocas de cultivo do tomateiro e dos três ambientes (CT, ST, FE). Observa-se que a eficiência de interceptação apresenta aumentos decrescentes com o crescimento da área foliar, chegando próximo a eficiência máxima de interceptação (0,876) em maiores IAF observados. Esta relação se ajusta ao modelo de interceptação utilizado por Gosse et al. (1986), Russel et al. (1989) e Müller (2001).

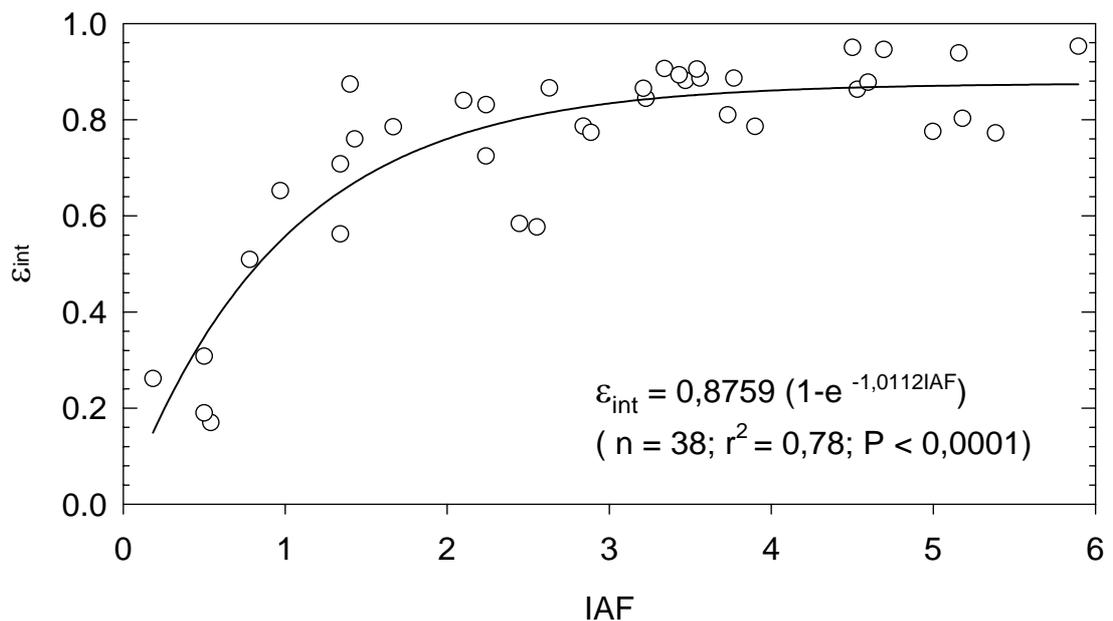


FIGURA 14. Eficiência de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (ϵ_{int}) em tomateiro para todo o conjunto de dados das duas épocas em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo (FE) em função do índice de área foliar (IAF). CPVDF/FEPAGRO, Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

4.4 Acúmulo e repartição de massa de matéria seca

Na Figura 15 e Apêndice 9 está representada a massa de matéria seca aérea acumulada durante as primeira e segunda épocas da cultura do tomateiro. Analisando os resultados da primeira época, observa-se que até os 40 dias após o transplante (DAT), aproximadamente, não houve diferença entre os tratamentos. Após este período o acúmulo de biomassa nos ambientes de estufa com tela (CT) e sem tela (ST) se diferenciam, em relação ao ambiente externo à estufa (FE). Esta diferença pode ser atribuída, principalmente, ao aumento na massa de matéria seca foliar dos ambientes de estufa, e ao maior aumento da massa de matéria seca do caule, como pode ser observado pela Figura 16. No ambiente FE o acúmulo de matéria seca da parte aérea não tendeu à estabilização, pois o ciclo da cultura foi interrompido devido a problemas fitossanitários.

O comportamento sigmoidal do acúmulo de massa de matéria seca total da planta é esperado, pois no início do ciclo a área foliar é pequena e, com isso, o acúmulo de massa de matéria seca é baixo. Mas, à medida em que as plantas se desenvolvem, ocorre maior taxa de crescimento da cultura, tendendo a estabilizar o acúmulo de massa de matéria seca na maturação (Charles-Edwards et al., 1986). Segundo Bergonci (1997), o acúmulo de massa de matéria seca é decisivamente influenciado pelo tempo em que o vegetal mantém ativa sua superfície foliar, característica definida como duração de área foliar (DAF). Isto significa que quanto maior for a DAF maior é a área foliar e/ou mais tempo a superfície foliar se mantém viva. Tanto durante a primeira quanto na segunda época a área foliar dos ambientes de estufa (CT e ST)

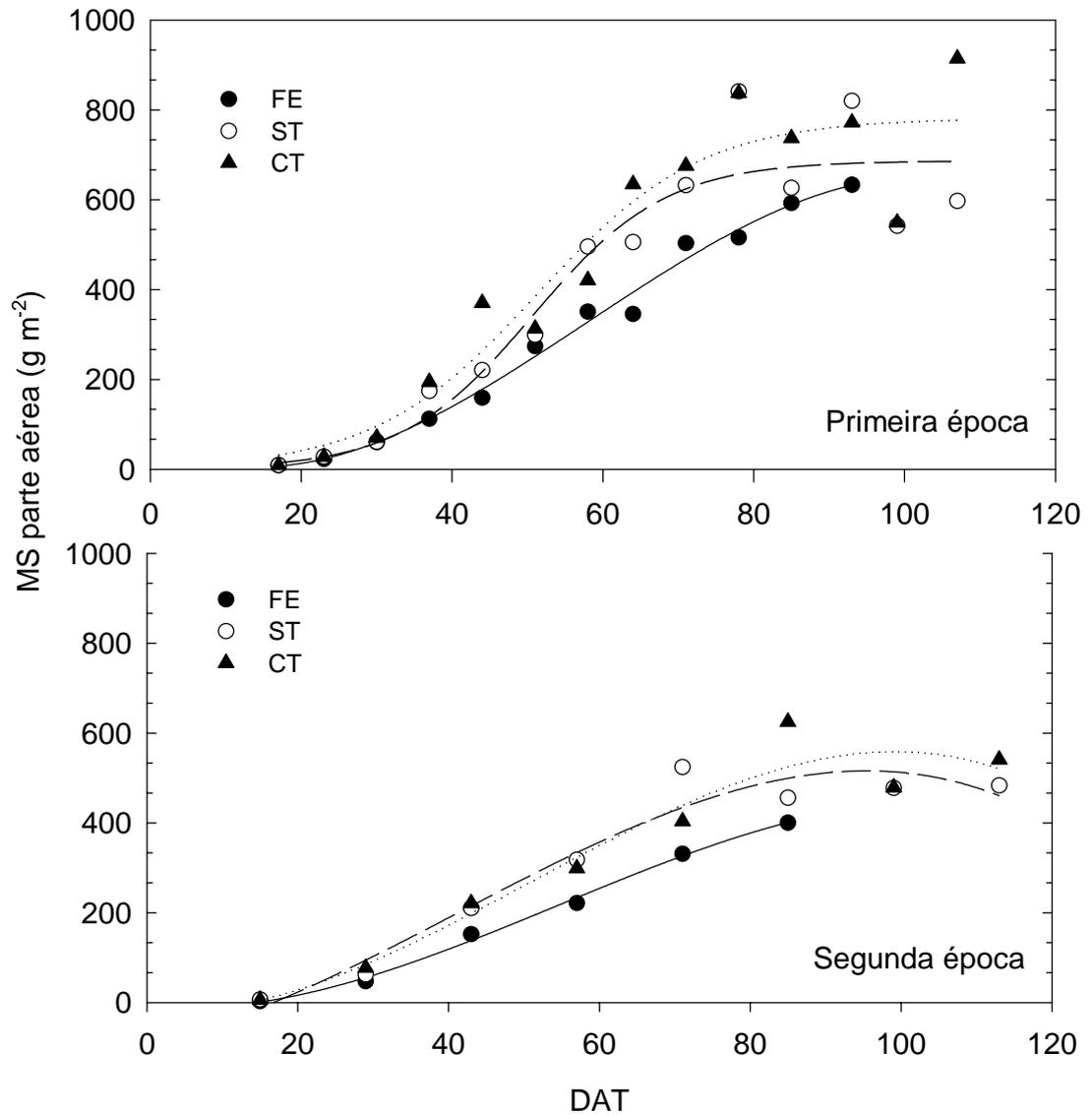


FIGURA 15. Massa de matéria seca (MS) acumulada na parte aérea de plantas do tomateiro em função de dias após o transplante (DAT) em duas épocas de cultivo, em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e em ambiente externo a estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul, 1999/2000.

permaneceu maior e ativa durante praticamente todo o período em que os experimentos foram avaliados, havendo pouca senescência de folhas nestes ambientes. Portanto, nestes ambientes de estufa a DAF foi maior do que a céu aberto.

Segundo Russel et al. (1989) um padrão linear de acúmulo de matéria seca seria esperado sob condições meteorológicas constantes, como resultado de um “stand” uniforme da vegetação, considerando que a taxa de acúmulo de matéria seca está diretamente ligada à energia radiante interceptada pela cultura. Entretanto, como as condições meteorológicas dos dois experimentos não foram uniformes, justificam-se as oscilações ocorridas no acúmulo de matéria seca ao longo do ciclo da cultura.

O total de massa de matéria seca produzida foi superior quando a cultura foi transplantada em outubro (período mais favorável ao cultivo do tomate na região do experimento), do que aquela com a cultura transplantada em fevereiro. Isto pode ser explicado pelos níveis mais altos de radiação solar durante a primeira época (Figura 3 e Apêndice 2), já que a produção final de massa de matéria seca é função da disponibilidade de radiação solar que é absorvida pelas culturas (McCree, 1972; Varlet-Grancher et al., 1989), bem como da temperatura do ar, a qual foi mais favorável nesse ciclo (Figura 4).

Os ambientes CT e ST propiciaram valores de massa de matéria seca da parte aérea semelhantes e superiores aos obtidos no ambiente externo à estufa, tanto na primeira quanto na segunda épocas.

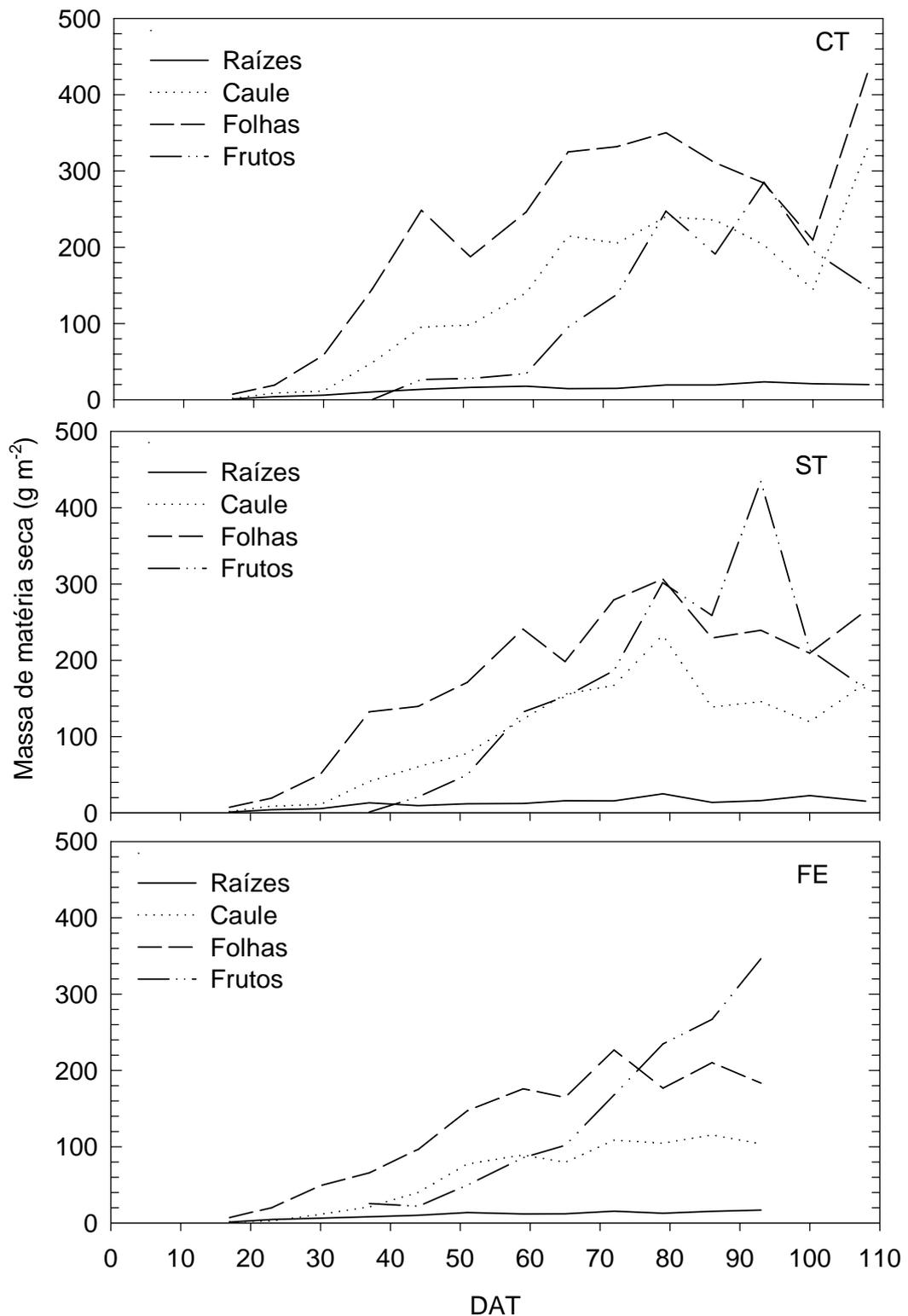


FIGURA 16. Repartição da matéria seca em plantas de tomateiro durante a primeira época, em função de dias após o transplante (DAT) nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Analisando a distribuição de massa de matéria seca entre as várias partes da planta, observa-se que a massa de matéria seca foliar aumentou durante a primeira época, até 65 a 79 DAT, diminuindo após este período (Figura 16). Na segunda época (Figura 17) a matéria seca foliar aumentou até 71 a 85 DAT, diminuindo após este período. Este decréscimo pode ser devido aos processos de senescência e abscisão foliar, induzidos pela distribuição preferencial de fotoassimilados em direção aos frutos e pela suspensão na emissão de novas folhas (Peluzio et al, 1995).

O aumento da massa de matéria seca do caule ocorreu até, aproximadamente, os 79 DAT, quando atingiu o nível máximo, seguido de um decréscimo dos 79 aos 100 DAT. O acúmulo de matéria seca do caule indica que este atuou como dreno de fotoassimilados enquanto esteve em crescimento. A queda, após este período, pode ser atribuída à mobilização dos fotoassimilados do caule (fonte) para os frutos, em virtude das folhas apresentarem senescência e abscisão, bem como devido ao maior sombreamento das folhas inferiores, no mesmo período, reduzindo sua atividade como fonte de fotoassimilados para os frutos. Depois de uma remoção de frutos, ocorrida aos 93 DAT, o caule voltou a aumentar a sua matéria seca. Como a maioria dos frutos (drenos) havia sido retirada, provavelmente, ocorreu excesso de fotoassimilados e o caule voltou a agir como dreno.

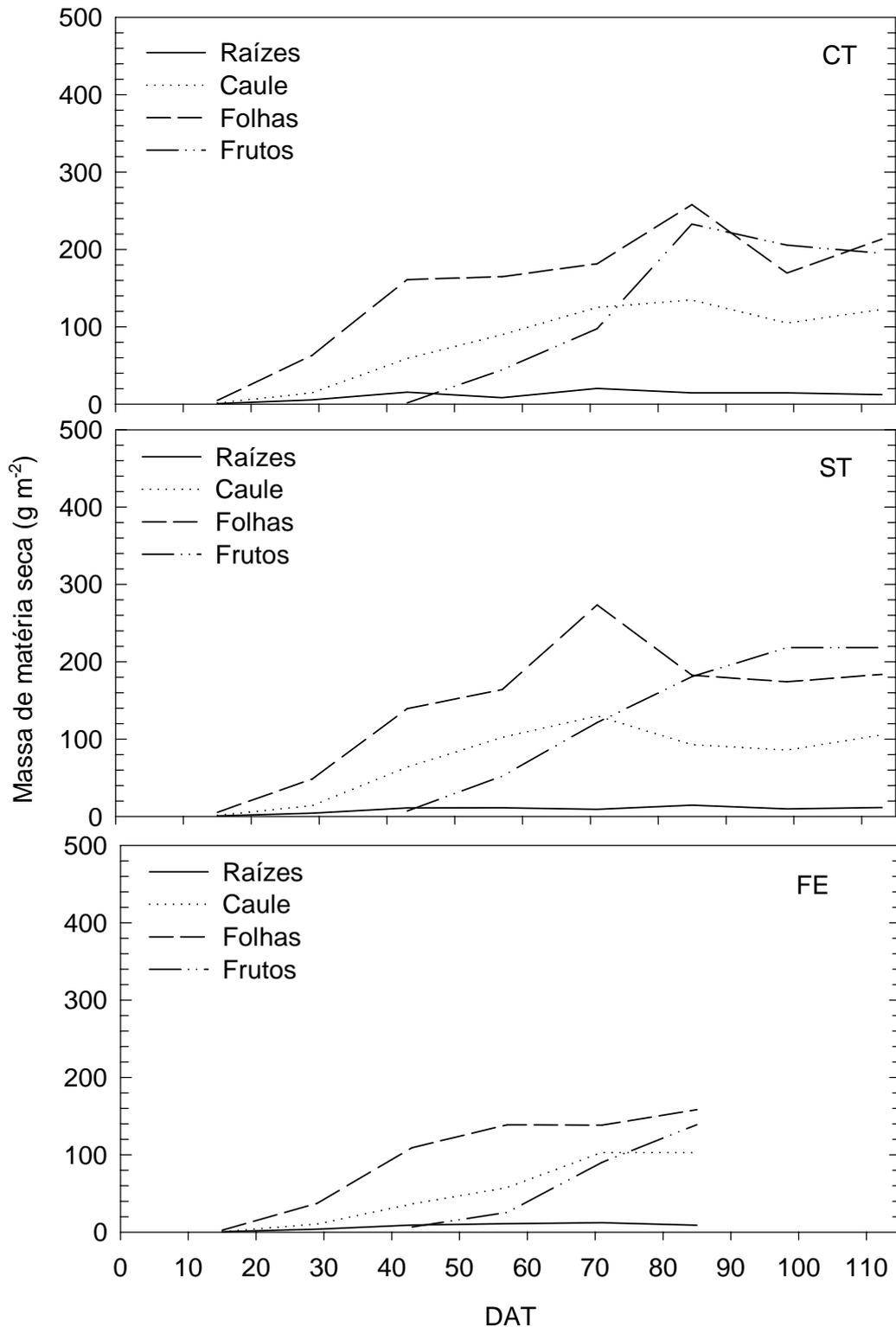


FIGURA 17. Repartição da matéria seca em plantas de tomateiro durante a segunda época, em função de dias após o transplante (DAT) nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Na segunda época a massa de matéria seca do caule cresceu até 71 a 85 DT e, decresceu após, voltando a aumentar a sua massa de matéria seca posteriormente.

A massa de matéria seca dos frutos aumentou até os 93 DAT, na primeira época, e até 85 DAT na segunda época. Estes órgãos são considerados drenos metabólicos fortes, para os quais os fotoassimilados são preferencialmente translocados, promovendo aumento da massa de matéria seca. Por isso, induzem a distribuição de fotoassimilados em sua direção, provocando uma aceleração na taxa de senescência foliar e induzindo a abscisão foliar. Pode ser observado que o acúmulo de massa de matéria seca das folhas tende a decrescer quando ocorre acúmulo acelerado da massa de matéria seca nos frutos.

A fração da massa de matéria seca da parte aérea, que foi distribuída para os frutos, chegou a um máximo de 37, 53 e 55% em CT, ST e FE, respectivamente, na primeira época. Na segunda época foram destinados 40, 40 e 35%, da biomassa aérea para os frutos em CT, ST e FE, respectivamente (Figura 18). Estes valores estão abaixo daqueles encontrados por Heuvelink (1995), o qual obteve uma fração média de 54 a 60% da massa de matéria seca total de plantas de tomateiro, distribuída para os frutos. Hewitt & Marrush (1986) observaram 55% da massa de matéria seca total destinada aos frutos de tomate.

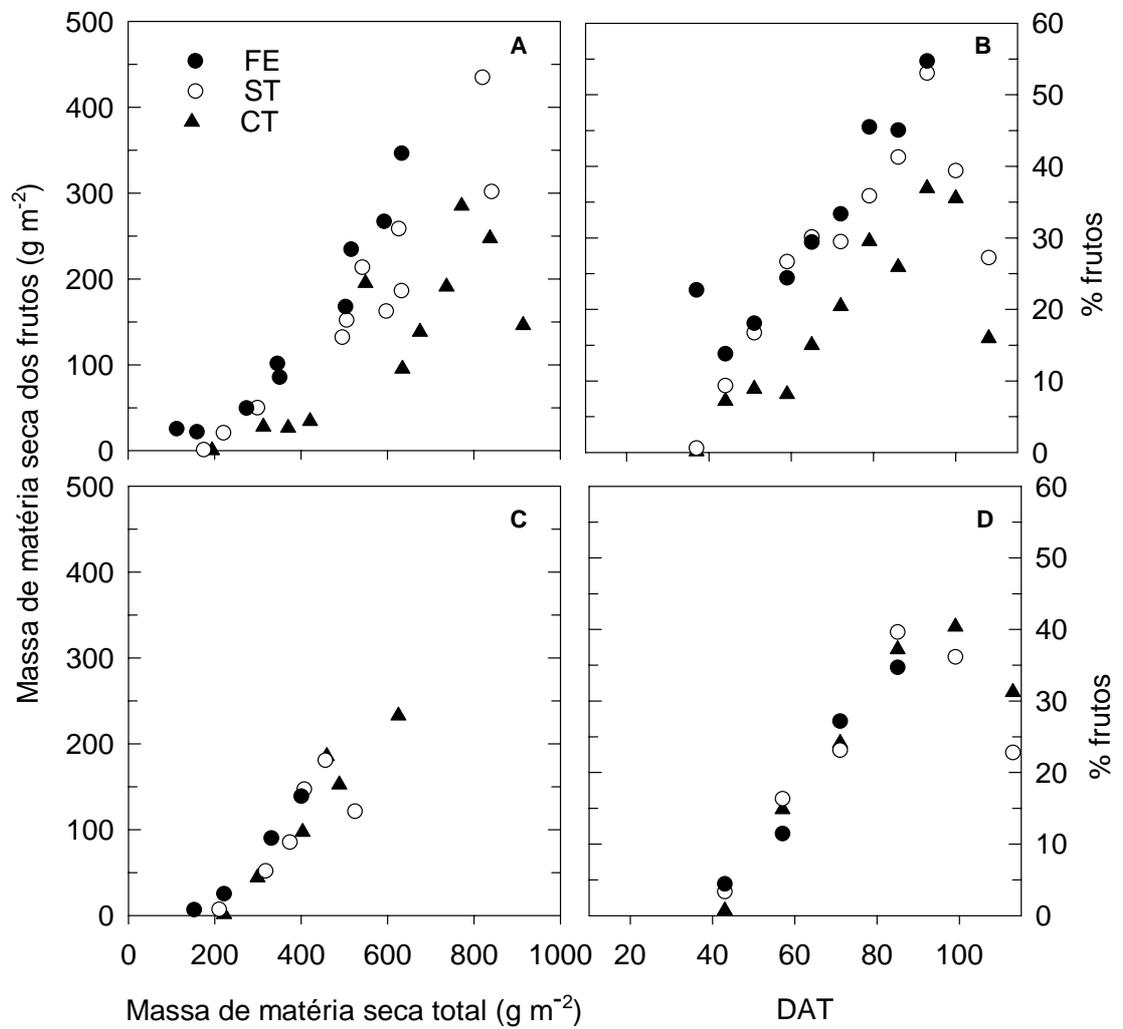


FIGURA 18. Relação entre massa de matéria seca dos frutos e massa de matéria seca total e fração do total de matéria seca distribuída para os frutos do tomateiro, na primeira época A e B, e na segunda época C e D, respectivamente, em função de dias após o transplante em ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Observa-se que, na primeira época, a porcentagem de massa de matéria seca distribuída para os frutos foi superior no cultivo realizado fora da estufa, comparado aos cultivos no interior da estufa, principalmente com relação à estufa com tela (CT). Isto quer dizer que, no interior da estufa, havia maior quantidade de biomassa aérea, principalmente de folhas, para uma mesma produção de frutos. Nos ambientes de estufa a maior parte dos fotoassimilados ficou estocada nas folhas ou no caule, e somente 37% foram translocados para os frutos. Na segunda época, os três ambientes tiveram uma distribuição de massa de matéria seca para os frutos semelhante, como pode ser observado na Figura 18.

4.5 Taxa fotossintética

A taxa de fotossíntese medida na cultura do tomateiro está representada na Figura 19 e Apêndice 10. Observa-se que, na primeira medição realizada no dia 02/12 (45DAT, primeira época), utilizando-se apenas folhas intermediárias, não houve diferença nas taxas fotossintéticas entre os ambientes.

Nas demais datas de medições, fez-se a leitura da taxa fotossintética em três níveis, utilizando-se folhas de estratos inferiores, intermediárias e superiores do dossel. Para os dias 22/12, 16/03 e 27/04, observa-se que as folhas inferiores sempre apresentaram taxas fotossintéticas menores àquelas dos estratos intermediário e superior. No dia 27/04 (72DAT, segunda época), já não havia mais folhas na parte inferior da planta no ambiente externo à estufa, devido à ocorrência de problemas fitossanitários.

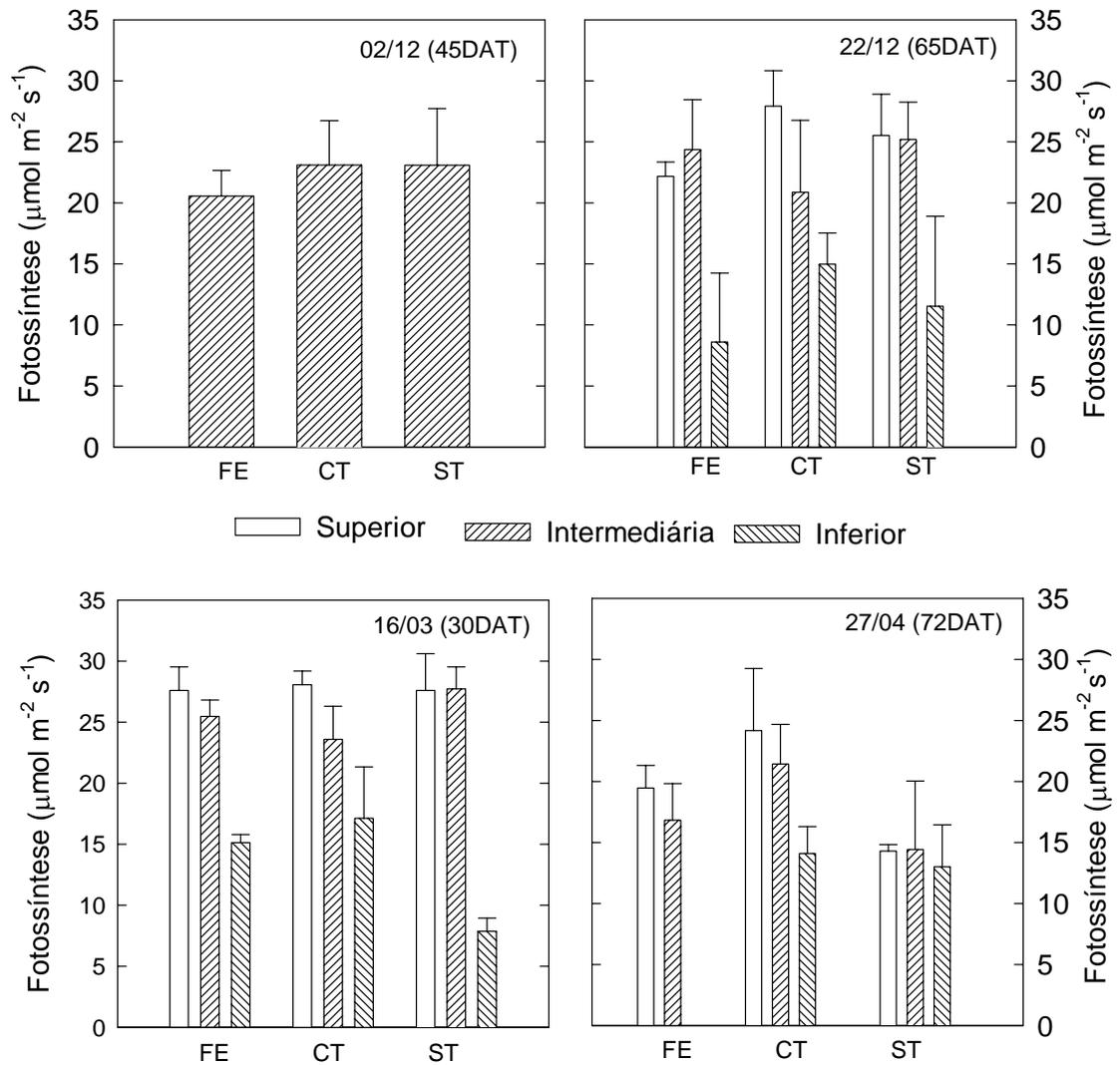


FIGURA 19. Taxa fotossintética em tomateiro cultivado fora de estufa (FE), em estufa com tela (CT) e em estufa sem tela (ST), média de três repetições, com respectivo desvio padrão, indicado pela extremidade da linha vertical. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Por este motivo, mediu-se a fotossíntese apenas nas folhas intermediárias e superiores. Através desses resultados, verificou-se que as folhas inferiores apresentaram menor taxa fotossintética, quando comparadas às folhas intermediárias e superiores, enquanto que estas últimas tiveram respostas semelhantes.

Este tipo de resposta é esperada, considerando que as folhas da parte inferior são mais velhas. Com o crescimento do tomateiro ocorre desenvolvimento de folhas mais jovens na parte superior do dossel e estas são, lentamente, substituídas por novas folhas. Com isto, aquelas que ficam na parte mais baixa do dossel vão ficando cada vez mais sombreadas, ao longo da estação de crescimento.

Vários autores obtiveram resultados semelhantes, demonstrando que a taxa de fotossíntese declina com a idade das folhas (Constable & Rawson, 1980; Peng & Krieg, 1991; Sassenrath-Cole, 1995; Xu et al., 1997).

Sassenrath-Cole et al. (1996) conduziram um experimento mantendo os mesmos níveis de luz sobre as folhas, evitando o sombreamento, e concluíram que a taxa de fotossíntese diminui continuamente com a idade das folhas. Foi verificado que o declínio da atividade fotossintética, com o envelhecimento da folha, resulta de uma alteração nas funções fisiológicas, mais do que na resposta ao recebimento do fluxo de fótons.

Também é importante considerar a interação que ocorre no conjunto de folhas no dossel. Se todas elas estiverem em posição aproximadamente horizontal e a radiação incidir com pouca inclinação, as folhas do estrato superior estarão expostas a um elevado fluxo de radiação e, por isto, saturadas

por radiação. A fotossíntese destas folhas poderá estar limitada ao ponto de saturação, com desperdício de radiação incidente. Entretanto, algumas folhas situadas abaixo das anteriores podem estar expostas a uma condição mais favorável de radiação para a fotossíntese, ao passo que muitas das folhas que estão na parte inferior do dossel podem não dispor de radiação suficiente para que haja fotossíntese líquida positiva (Salisbury & Ross, 1994). Ocorre, com isso, maior taxa de fotossíntese nas folhas superiores e intermediárias e menores taxas nas folhas inferiores.

Pela mesma Figura 19, observa-se uma tendência das folhas superiores apresentarem maior taxa fotossintética. Possivelmente, estas folhas ainda estavam em processo de expansão no momento das leituras. Esses resultados confirmam trabalhos de Xu et al. (1997), nos quais, em condições de saturação de radiação solar, a maior taxa de fotossíntese em tomateiro se deu quando a expansão foliar ainda estava ocorrendo. Quando as folhas completavam sua expansão a taxa fotossintética já estava em declínio. Este tipo de resposta, observada na taxa de fotossíntese do tomateiro, difere do padrão da maioria das outras culturas, que só atingem a máxima taxa fotossintética quando as folhas atingem a expansão completa, decrescendo após, com a senescência das folhas (Dwyer et al., 1989; Dai et al., 1992).

Xu et al. (1997) também observaram que a capacidade fotossintética, a fotossíntese líquida e a condutância estomática da cultura do tomateiro foram maiores nas folhas superiores do dossel, e que os valores foram decrescendo com a profundidade no dossel. A respiração também decresceu com a profundidade no dossel.

O decréscimo da condutância das folhas inferiores sugere que o processo de difusão de CO_2 do ar, para o interior das folhas, não foi o principal fator limitante da fotossíntese das folhas inferiores (Xu et al., 1997). Dai et al. (1992) ressaltam que a fotossíntese em folhas senescentes é limitada por processos bioquímicos, principalmente degradação da clorofila, mais do que pela função dos estômatos.

Comparando a taxa fotossintética entre os ambientes, observa-se que esses não apresentam diferenças. No ambiente FE houve maior disponibilidade de RFA incidente do que nos ambientes de estufa (Figura 7) durante o período de crescimento da cultura. Portanto, pode-se dizer que as plantas dos ambientes CT e ST se aclimataram à menor disponibilidade de radiação solar e foram mais eficientes na utilização da radiação do que as plantas do ambiente externo à estufa (FE).

As plantas cultivadas em ambiente de estufa podem se comportar como “plantas de sombra”. Segundo Salisbury & Ross (1994) as “plantas de sombra” possuem maior área foliar e investem mais energia em produção de pigmentos para a coleta de luz, permitindo fazer uso da maior quantidade possível de radiação incidente sobre elas.

Boardman (1977) relata que, crescendo sob baixa luminosidade, folhas de “plantas de sol” apresentaram curva de saturação de radiação semelhante às “plantas de sombra”, demonstrando que estas plantas podem ter se adaptado à nova condição de radiação solar. Essas “plantas de sombra” apresentam, também, menores taxas de respiração e baixo ponto de compensação por luz, quando comparadas com espécies de sol.

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a fotossíntese por unidade de área foliar não diferiu entre os ambientes em estudo. Portanto, a taxa de fotossíntese é relativamente constante para uma ampla faixa de variação de ambiente, concordando com Constable & Rawson (1980). Trabalhando com a cultura do girassol, estes autores demonstraram que a taxa de fotossíntese (por unidade de área foliar) é relativamente constante, em diferentes ambientes, e difere pouco entre cultivares de girassol estudadas.

Analisando os dados de medição dos dias 16/03 e 27/04, observa-se que houve diminuição na taxa fotossintética da primeira (30DAT) para a segunda data de leitura (72DAT). Este decréscimo pode ser atribuído a dois motivos: primeiro, que houve redução na disponibilidade de radiação solar do primeiro para o segundo dia, como pode ser observado na Figura 3. Esta diminuição é esperada, já que se trata da passagem do final de verão (16/03) ao outono (27/04). López et al. (2001) afirmam que a taxa de fotossíntese está relacionada com a disponibilidade de radiação solar interceptada, em que decréscimos na radiação solar conduzem à diminuição na fotossíntese. Segundo, que a cultura estava em crescimento vegetativo quando foi efetuada a primeira medição da taxa fotossintética da segunda época (16/03), com as folhas ainda em expansão e iniciando a formação dos frutos. Já, na segunda data (27/04), os frutos estavam formados e crescendo rapidamente, e representavam cerca de 25% da massa de matéria seca total, havendo com isso, decréscimo na atividade fotossintética. Segundo McAvoy & Janes (1989), quando os frutos estão crescendo rapidamente a taxa fotossintética decresce em comparação àquela observada quando as folhas estão em expansão.

Na análise da fotossíntese total da planta do tomateiro, levando em consideração o IAF das mesmas (Figura 20), observa-se que as plantas no ambiente fora da estufa apresentaram menor fotossíntese total do que as plantas dos ambientes CT e ST. A maior fotossíntese total das plantas, observada no ambiente CT, pode ser atribuída, ao maior índice de área foliar (IAF). Assim, o menor IAF proporcionou menor fotossíntese total por planta no ambiente externo à estufa (FE), pois, como já foi observado anteriormente, não houve diferença na taxa de fotossíntese por unidade de área foliar.

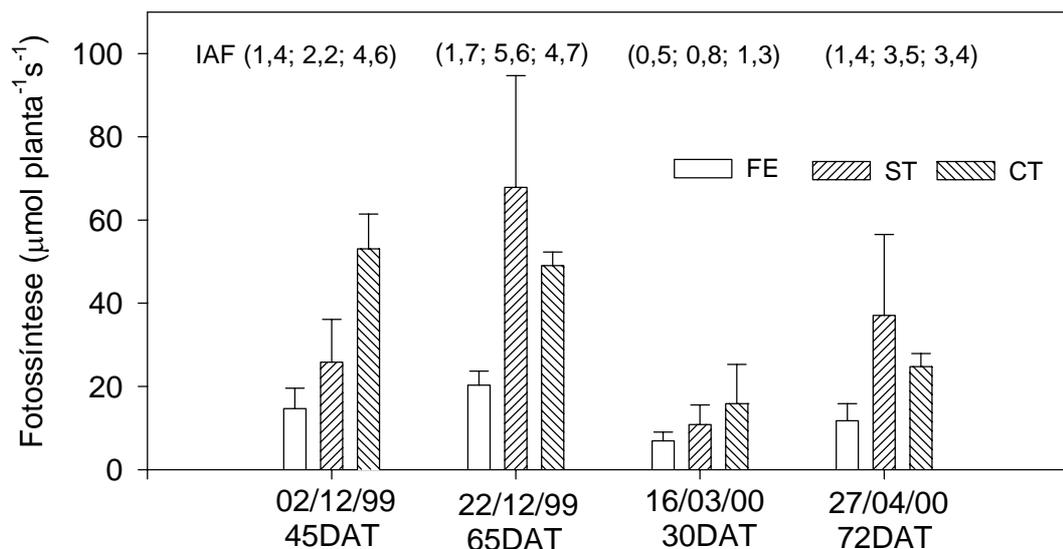


FIGURA 20: Fotossíntese total por planta em tomateiro cultivado fora de estufa (FE), em estufa com tela (CT) e em estufa sem tela (ST), média de três repetições, com respectivo desvio padrão, indicando pela extremidade da linha vertical e índice de área foliar (IAF) de cada tratamento. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

4.6 Eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa corresponde ao coeficiente de regressão linear entre valores acumulados de peso da massa de matéria seca aérea (MS) e radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura (ΣRFA_{int}). Este parâmetro estima a eficiência de conversão da radiação solar recebida em matéria seca total das plantas (g de matéria seca por mol de RFA_{int}), conforme está representado nas Figuras 21 (primeira época) e 22 (segunda época).

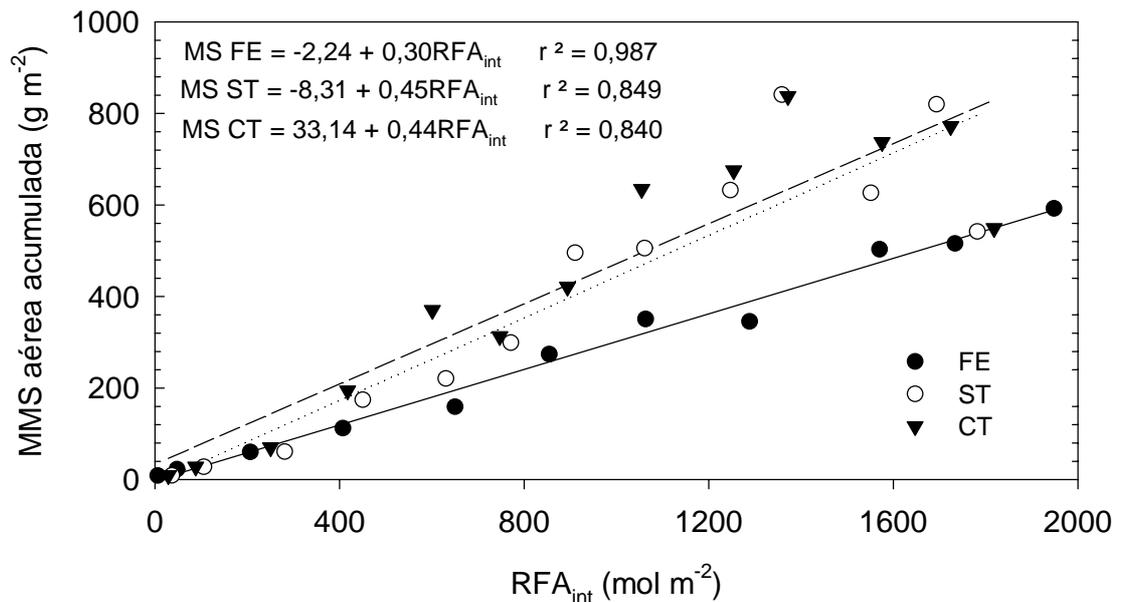


FIGURA 21. Massa de matéria seca acumulada na parte aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFA_{int}) durante a primeira época de cultivo do tomateiro, nos ambientes em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Para o ambiente externo à estufa (FE) os coeficientes encontrados nos dois experimentos foram de 0,30 e 0,32 g de matéria seca para cada mol de RFA interceptada, nas primeira e na segunda épocas, respectivamente. Para o ambiente ST foram encontrados valores de 0,45 e 0,53 g mol⁻¹ nas duas épocas de cultivo. No ambiente CT foram encontrados valores de 0,44 e 0,60 g MS mol⁻¹ de RFA_{int} nos mesmos períodos de cultivo.

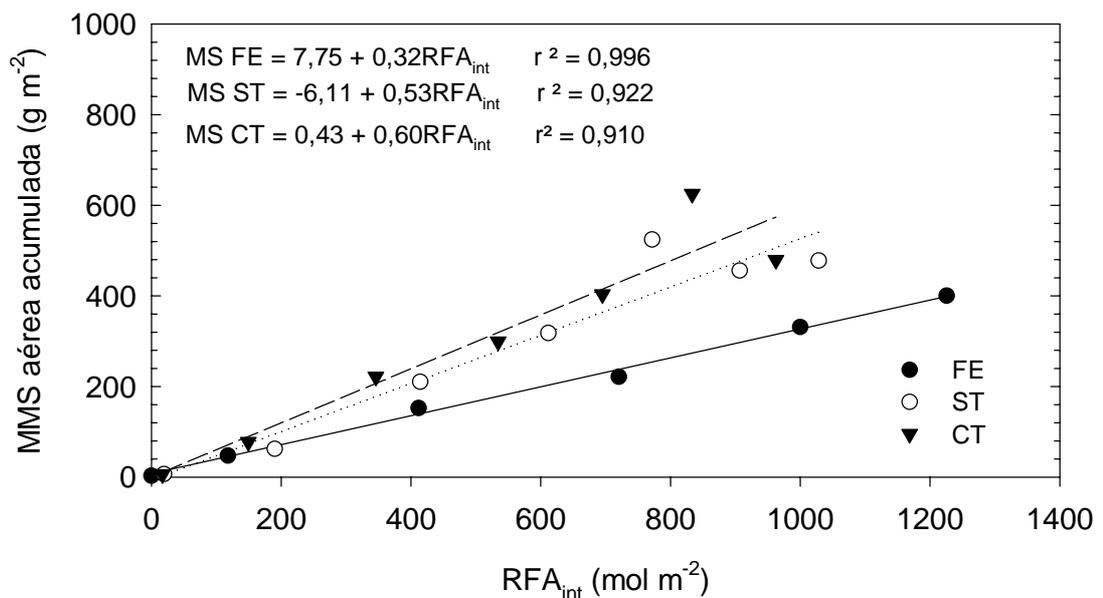


FIGURA 22. Massa de matéria seca acumulada na parte aérea em função da radiação fotossinteticamente ativa interceptada acumulada (RFA_{int}) durante a segunda época de cultivo do tomateiro, nos ambientes em estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Para fins de comparação com resultados de outros trabalhos e utilizando uma constante única de conversão de 4,57 para os três ambientes, foram encontradas eficiência de uso de RFA de: 1,39 e 1,46 g MJ⁻¹ para o ambiente FE; 2,06 e 2,43 g MJ⁻¹ para o ambiente ST; 2,00 e de 2,72 g de MS MJ⁻¹ para o ambiente CT, para as primeira e segunda épocas, respectivamente. Estes valores estão dentro da ordem de grandeza de resultados encontrados por outros autores com a cultura do tomateiro (De Koning, 1993; Heuvelink, 1995; Andriolo & Falcão, 2000). Entretanto, é importante considerar que a radiação nos ambientes de estufa sofre alterações espectrais, o que torna a utilização desses resultados limitada, mesmo para fins de comparação.

Em seus experimentos com a cultura do tomateiro, Heuvelink (1995) encontrou valor médio de eficiência do uso da radiação de 2,5 g de MS MJ⁻¹ de RFA incidente, em uma densidade de 2,1 plantas m⁻² dentro de estufa. De Koning (1993) encontrou 3,0 g de MS MJ⁻¹ de RFA, também dentro de estufa, com a cultura do tomateiro. Andriolo & Falcão (2000) encontraram valores de 1,60 g de MS MJ⁻¹ de RFA. Essas diferenças observadas na eficiência de uso da radiação podem ser devido a diferenças na densidade da população de plantas, hábito de crescimento da cultura, cultivares e sistema de poda ou de desbaste foliar. Depende também de como foram tomados os valores de matéria seca (total ou aérea) e a RFA (interceptada, absorvida ou incidente).

Challa et al. (1995), citados por Andriolo et al. (1998), encontraram valor de 3,1 g de MS MJ⁻¹ de RFA incidente, para a cultura do tomateiro em ambiente protegido, valor considerado alto. Curt et al. (1998) encontraram 4,96

g de MS MJ⁻¹ para a cultura de sorgo, enquanto Müller (2001) encontrou valor de 3,27 g de MS MJ⁻¹ de RFA interceptada para a cultura do milho. Plantas C₃ tendem a ter menores valores de eficiência de uso da radiação do que plantas C₄ (Gosse et al., 1986).

Considera-se que em plantas saudias, adequadamente supridas de água e nutrientes, a fotossíntese e a produção de biomassa sejam proporcionais à quantidade de radiação fotossinteticamente ativa absorvida pelo dossel (Monteith, 1977). Mas, no ambiente externo à estufa (FE), que teve maior quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela cultura do tomateiro, a biomassa produzida foi menor, e o inverso ocorreu com os ambientes de estufa (CT e ST), onde houve menor disponibilidade de radiação solar e maior produção de matéria seca, nos dois ciclos de desenvolvimento da cultura.

Essa maior eficiência de uso da radiação nos ambientes de estufa com tela (CT) e estufa sem tela (ST) pode ser devido à maior disponibilidade de radiação difusa nestes ambientes. Sinclair et al. (1992) obtiveram resultados semelhantes e consideraram que a maior eficiência de uso da radiação em estufas é explicada pelo fato de que nestes ambientes existe aumento da radiação difusa. Resultados de Farias et al. (1993) demonstraram que dentro de estufas cerca de 45% da radiação solar global corresponde à radiação difusa, enquanto que na parte externa da estufa somente 24% da radiação global corresponde à radiação difusa. Também Aikman (1989) observou aumento da radiação difusa no interior de estufas, atribuído à colocação de uma tela branca, à cobertura e à estrutura da mesma. Segundo este autor,

houve maior uniformidade da radiação solar no interior do dossel, fazendo com que as folhas inferiores conseguissem aumentar a sua eficiência de interceptação e de uso da radiação. Por este motivo, além do maior IAF, dentro da estufa a cultura do tomateiro fez melhor uso da radiação. Pela maior porção de radiação difusa, que é multidirecional, ocorre distribuição mais homogênea dentro do dossel, o que a torna mais efetiva para a realização da fotossíntese.

Papadopoulos & Ormros (1988) e Hammer & Vanderlip (1989) também verificaram que existe maior disponibilidade de radiação difusa no interior de estufas. Assim, é esperado que uma cultura com maior IAF seja beneficiada com este efeito, em função de uma melhor distribuição da radiação dentro do dossel, aumentando, com isso, a eficiência do uso da radiação.

Através do ajuste de modelos, Sinclair et al. (1992) concluíram que o aumento na fração difusa resulta em aumentos na eficiência de uso da radiação solar na cultura do milho e da soja. Este efeito ocorre devido ao aumento da contribuição relativa das folhas sombreadas para o acúmulo de biomassa da cultura, o qual é aumentado à medida em que aumenta a fração de radiação difusa. Este aumento da eficiência de uso da radiação é ligeiramente menor quando a taxa de assimilação de CO_2 está saturada por radiação. Considerando que havia maior disponibilidade de radiação difusa dentro da estufa (CT e ST), esta pode ter contribuído para o aumento da eficiência de uso da radiação. Na parte externa à estufa (FE) havia maior disponibilidade de radiação direta e, com isso, as folhas da parte superior do dossel podiam estar saturadas por radiação, tornando-se, portanto, menos eficientes na conversão.

Comparando os diferentes ambientes, verificou-se que a taxa fotossintética da cultura do tomateiro não apresentou diferenças significativas (Figura 19), mesmo havendo variações na disponibilidade de radiação entre os mesmos. Então, nos ambientes de estufa as folhas comportam-se como “folhas de sombra”, o que as torna mais eficientes na absorção da radiação do que as “folhas de sol” (Boardman, 1977; Lambers et al., 1998). Além disso, no interior das estufas havia maior IAF (Figura 8 e Apêndice 6), e com isso, mais folhas estavam contribuindo para aumentar a eficiência de uso da radiação.

Sinclair & Horie (1989) mostraram que a eficiência de uso da radiação varia dentro de uma mesma espécie e que folhas saturadas por radiação são menos eficientes do que aquelas que estão sombreadas. Como a fração de área de folhas sombreadas aumenta e, estas folhas não ficam expostas a densidades de fluxo de RFA saturante, pode aumentar significativamente a eficiência de uso da radiação, principalmente devido à distribuição mais uniforme da radiação no interior do dossel, dentro de estufas.

Dados de eficiência de uso da radiação mostraram decréscimo quase linear em resposta ao aumento da radiação global incidente acima do ponto de saturação (Sinclair et al., 1992). Analisando a eficiência diária de uso da radiação, Medlyn (1998) também observou decréscimo da eficiência com o aumento da RFA incidente.

No presente trabalho, a eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi menor durante a primeira época da cultura do tomateiro nos três ambientes, período em que a radiação solar foi de $22,74 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Maior eficiência ocorreu durante a segunda época, quando

a radiação solar incidente média do período foi de $14,61 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Estes valores concordam com resultados de Sinclair & Shiraiwa (1993), que obtiveram maior eficiência de uso da radiação em local onde a média diária de radiação foi menor ($14,9 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$), comparado a um local onde a média diária de radiação foi maior ($18 \text{ MJ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$). Também Medlyn (1998), através do ajuste de modelos, obteve menor eficiência de uso da radiação no verão e maior no inverno, independente do IAF observado nesses períodos.

Portanto, pode-se considerar que, havendo maior quantidade de radiação difusa no interior da estufa, a distribuição da RFA é mais uniforme dentro do dossel vegetal nos ambientes de estufa, ocorrendo tendência inversa a céu aberto. Aikman (1989) trabalhou com três regimes de radiação: uniforme em todo o período, alta radiação seguida de baixa, e baixa radiação seguida de alta disponibilidade. O autor verificou que as plantas apresentaram 33% mais massa de matéria seca no experimento de radiação uniforme do que em plantas com regime alternado de luz. As plantas com regime uniforme de radiação também apresentaram maior área foliar, embora esta diferença não tenha sido marcante. Estimou-se que a taxa de acúmulo de matéria seca por unidade de área foliar foi aproximadamente 15% maior em regime de radiação uniforme do que a média dos outros dois regimes.

Durante a primeira época de cultivo tomateiro a eficiência de utilização da radiação fotossinteticamente ativa encontrada fora da estufa foi de 67% do valor médio dos ambientes com tela (CT) e sem tela (ST). Isto significa que, nos ambientes de estufa, a radiação foi utilizada mais eficientemente na conversão para matéria seca, em aproximadamente 33%. Na segunda época,

a eficiência de uso da RFA interceptada foi de apenas 57% do valor médio encontrado nos ambientes de estufa, onde a cultura também utilizou mais eficientemente a radiação em aproximadamente 43% a mais da radiação utilizada fora da estufa.

Na média das duas épocas de cultivo do tomateiro, a eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa foi maior no ambiente de estufa com tela anti-insetos (CT) do que no ambiente de estufa sem tela (ST). Pode-se considerar que a presença da tela, propiciou aumento da radiação difusa, distribuindo de maneira mais uniforme a radiação dentro do dossel vegetal, e este ambiente também favoreceu a maior expansão foliar e, com isso, houve aumento da eficiência de uso da radiação.

5. CONCLUSÕES

A disponibilidade da radiação fotossinteticamente ativa é reduzida nos ambientes de estufa com tela anti-insetos e de estufa sem tela, em relação àquela que ocorre a céu aberto.

Para mesmos estádios de desenvolvimento, plantas de tomateiro cultivadas em estufas plásticas têm maior área foliar do que plantas cultivadas fora das mesmas.

Plantas de tomateiro cultivadas em ambientes de estufa plástica e a céu aberto, apresentam taxas fotossintéticas semelhantes, embora com disponibilidade de radiação fotossinteticamente ativa incidente maior no ambiente externo.

A eficiência de interceptação de radiação fotossinteticamente ativa (ϵ_{int}) da cultura do tomateiro pode ser estimada em função do índice de área foliar, através de um modelo exponencial. A ϵ_{int} aumenta com o crescimento da área foliar, porém os incrementos são decrescentes, numa relação assintótica.

A eficiência de uso da radiação fotossinteticamente ativa da cultura do tomateiro é maior em ambientes de estufa, quando comparada ao cultivo a céu aberto. Com menor disponibilidade de RFA, os ambientes de estufa

proporcionam maior área foliar para a captação de radiação solar e maior produção de biomassa pela cultura.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, E.; HSIAO, T. C.; HENDERSON, D. W. Immediate and subsequent growth responses of maize leaves to changes in water status. **Plant Physiology**, Rockville, v.48, p.631-636, 1971.
- ACOCK, B. et al. The contribution of leaves from different levels within a tomato crop to canopy net photosynthesis: an experimental examination of two canopy models. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.29, p.815-827, 1978.
- AIKMAN, D. P. Potential increase in photosynthetic efficiency from the redistribution of solar radiation in a crop. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.40, n.217, p.885-864, 1989.
- ALPI, A.; TOGNONI, F. **O cultivo em estufas**. Lisboa: Presença, 1978. 196p.
- ANDRIOLO, J. L. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142p.
- ANDRIOLO, J. L.; FALCÃO, L. L. Efeito da poda de folhas sobre a acumulação de matéria seca e sua repartição para os frutos de tomateiro cultivado em ambiente protegido. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.8, n.1, p.75-83, 2000.
- ANDRIOLO, J. L. et al. Avaliação da produtividade do tomateiro em cultivo protegido através de um modelo de simulação da produção. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.16, n.1, p.13-19, 1998.
- BARNI, N. A. **Modelos de crescimento, desenvolvimento e rendimento do girassol em função da radiação solar, temperatura e disponibilidade hídrica**. 1994. 249f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1994.

- BERGAMASCHI, H.; GUADAGNIN, M. R. **Agroclima da Estação Experimental Agronômica**. Porto Alegre: Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1990. 91p. (não publicado).
- BERGAMASCHI, H. et al. Deficiência hídrica em feijoeiro. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 23, n.7, p.733-743, 1988.
- BERGONCI, J. I. **Avaliação de indicadores de déficit hídrico em milho**. 1997. 117f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1997.
- BERTIN, N.; GARY, C. Short and long fluctuations of the leaf mass per area of tomato plants - implications for growth models. **Annals of Botany**, London, v.82, p.71-81, 1998.
- BERTIN, N.; HEUVELINK, E. Dry-matter production in a tomato crop: comparasion of two simulation models. **Journal of Horticultural Science**, Asford, v.68, n.6, p.995-1011, 1993.
- BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Annual Review Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.28, p.355-377, 1977.
- BOIVIN, C.; GOSSELIN, A.; TRUDEL, M. J. Effect of supplementary lighting on transplant growth and yield of greenhouse tomato. **HortScience**, Alexandria, v.22, n.6, p.1266-1268, 1987.
- BRASIL. **Levantamento de reconhecimento dos solos do Estado do Rio Grande do Sul**. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Pesquisa Agropecuária. Divisão de Pesquisa Pedológica. Recife, 1973. 431p. (Boletim Técnico, 30).
- BROWN, R. H. Growth of the green plant. In: TESAR, M. B. (editor) **Physiological basis of crops growth and development**. Madison: American Society of Agronomy Crop Science Society of America, 1984. p. 153-174.
- BURIOL, G. A. Modificação na temperatura mínima do ar causada por estufas de polietileno transparente de baixa densidade. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.43-49, 1993.
- BURIOL, G. A. et al. Transmissividade à radiação solar do polietileno de baixa densidade utilizado em estufas. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.25, n.1, p.1-4, 1995.
- BURIOL, G. A. et al. Efeito da ventilação sobre a temperatura e umidade do ar em túneis baixos de polietileno transparente e o crescimento da alface. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.1, p.17-24, 1997.

- CAMACHO, M. J. et al. Avaliação de elementos meteorológicos em estufa plástica em Pelotas, RS. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.3, p.19-24, 1995.
- CERMEÑO, Z. S. **Construcción de invernaderos**. Madrid: Mundi-Prensa, 1994. 445p.
- CHARLES-EDWARDS, D. A. A model for leaf growth. **Annals of Botany**, London, v.44, p.523-535, 1979.
- CHARLES-EDWARDS, D. A. **Physiological determinants of crop growth**. North Ryde: Academic Press, 1982. 161p.
- CHARLES-EDWARDS, D. A.; DOLEY, D.; RIMMINGTON, G. M. **Modelling plant growth and development**. North Ryde: Academic Press, 1986. 235p.
- CHARLES, W. B.; HARRIS, R. E. Tomato fruit-set at high and low temperatures. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.52, p.497-506, 1972.
- COCKSHULL, K. E. The integration of plant physiology with physical changes in the greenhouse climate. **Acta Horticultural**, Wageningen, n.229, p. 113-123, 1988.
- CONFALONE, A.E.; COSTA, L. C.; PEREIRA, C. R. Determinação do coeficiente de extinção (k) em soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 11; 1999, REUNIÃO LATINO-AMERICANA DE AGROMETEOROLOGIA, 2., 1999, Florianópolis. **Anais....** Florianópolis: SBA, 1999. 1 CD-ROM.
- CONSTABLE, G. A.; RAWSON, H. M. Effect of leaf position, expansion and age on photosynthesis, transpiration and water use efficiency in cotton. **Australian Journal of Plant Physiology**, Collingwood, v.7, p.89-100, 1980.
- COSTA, L. C.; MORISON, J. I. L.; DENNETT, M. D. Carbon balance of growing Faba bean and its effect on crop growth: experimental and modelling approaches. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.4, p.11-17, 1996.
- CURT, M. D.; FERNANDEZ, J.; MARTINEZ, M. Productivity and radiation use efficiency of sweet sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) cv. Keller in Central Spain. **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.14. n.2, p.169-178, 1998.
- DAI, Z.; EDWARDS, G. E.; KU, M. S. B. Control of photosynthesis and stomatal conductance in *Ricinus communis* L. (Castor Bean) by leaf to air vapor pressure deficit. **Plant Physiology**, Rockville, v.99, p.1426-1434, 1992.

- DALE, J. E. The control of leaf expansion, **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.30, p.267-295, 1988.
- DAVIS, S. D.; McCREE, k. L. Photosynthetic rate and diffusion conductance as a function of age in leaves of bean plants. **Crop Science**, Madison, v.18, p.280-282, 1978.
- De KONING, A. N. M. Growth of a tomato crop. Measurements for model validation. **Acta Horticultural**, Wageningen, v.328, p.141-146, 1993.
- DEL POZO, A.; DANNETT, M. D. Analysis of the distribution of light, leaf nitrogen, and photosynthesis within the canopy of *Vicia faba* L. at two contrasting plant densities. **Australian Journal of Agricultural Research**, Collingwood, v.50, n.2, p.183-189, 1999.
- DWYER, L. M. et al. Photosynthetic rates of six maize cultivars during development. **Agronomy Journal**, Madison, v.81, p.597-602, 1989.
- EHRET, D. L.; HO, L. C. The effects of salinity on dry matter partitioning and fruit growth in tomatoes grown in nutrient film culturae. **Journal of Horticultural Science**, Asford, v. 61, p.361-367, 1986.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação dos Solos**. Rio de Janeiro:EMBRAPA/Centro Nacional de Pesquisa de Solos, 1999. 421p.
- ESTEFANEL, V. et al. Disponibilidade de radiação solar nos meses de inverno para o cultivo do tomateiro (*Lycopersicon esculentum* Mill.) na região de Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.28, n.4, p.553-559, 1998.
- FAO. **Protected cultivation in the mediterranean climate**. Roma: FAO, 1990, 313p. (Plant Production and Protection paper, 90).
- FARIAS, J. R. B. **Respostas do feijão-de-vagem à disponibilidade hídrica associada a alterações micrometeorológicas em estufa plástica**. 1991. 177f. Tese (Doutorado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 1991.
- FARIAS, J. R. B. et al. Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.1, n.1, p.31-36, 1993.
- FOLEGATTI, M. V. Efeitos da cobertura plástica sobre os elementos meteorológicos e evapotranspiração da cultura de crisântemo em estufa. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.155-163, 1997.

- FRANÇA, S. et al. Radiação fotossinteticamente ativa e sua relação com a radiação solar global em dossel de alfafa, em função do índice de área foliar. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v.5, n.2, p.147-153, 1997.
- FRISINA, V. A.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação e energia da cultura de alface em estufa de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.34, n.10, p.1775-1986, 1999.
- GALLAGHER, J. N.; BISCOE, P. V. Radiation absorption, growth and yield of cereals. **Journal Agricultural Science**, Cambridge, v.91, p.47-60, 1978.
- GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T. Techniques for measuring intercepted and absorbed photosynthetically active radiation in corn canopies. **Agronomy Journal**, Madison, v.50, p.752-756, 1986.
- GALLO, K. P.; DAUGHTRY, C. S. T.; WIEEGAND, C. L. Errors in measuring absorbed and computing crop radiation use efficiency. **Agronomy Journal**, Madison, v.85, p.1222-1228, 1993.
- GAUTIER, H.; VARLET-GRANCHER, C.; BAUDRY, N. Effects of blue light on the vertical colonization of space by white clover and their consequences for dry matter distribution. **Annals of Botany**, London, v.80, p.665-671, 1997
- GIFFORD, R. M.; EVANS, L. T. Photosynthesis, carbon partitioning and yield. **Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology**, Palo Alto, v.32, p.485-509, 1981.
- GISLEROD, H. R.; MORTENSEN, L. M. Air humidity and nutrient concentration effect nutrient uptake and growth of some greenhouse plants. **Acta Horticultural**, Wageningen, v.294, p.141-146, 1991.
- GOSSE, G. et al. Interception du rayonnement utile à la photosynthèse chez la luzerne: variations et modélisation. **Agronomie**, Paris, v.2, n.6, p.583-588, 1982.
- GOSSE, G. et al. Production maximale de matière sèche et rayonnement solaire intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.6, p.47-56, 1986.
- HAMMER, G.L.; VANDERLIP, R. L. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum. I.Effects of temperature on radiation use efficiency. **Crop Science**, Madison, v.29, p.370-376, 1989.
- HEUVELINK, E. Growth, development and yield of a tomato crop: periodic destructive measurements in a greenhouse. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.61, p.77-99, 1995.

- HEUVELINK, E. Re-interpretation of an experimental on the role of assimilate transport resistance in partitioning in tomato. **Annals of Botany**, London, v.78, p.467-470, 1996.
- HEWITT, J. D.; MARRUSH, M. Remobilization of nonstructural carbohydrate from vegetative tissues to fruit in tomato. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.111, p.142-145, 1986.
- HO, L. C. Partitioning of assimilates in fruiting tomato plants. **Plant Growth Regulation**, Dordrecht, v.2, n.2, p.277-285, 1984.
- HO, L. C.; GRANCE, R. I.; PICKEN, A. J. An analysis of the accumulation of water and dry matter in tomato fruit. **Plant, Cell and Environment**, Oxford, v.10, p.157-162, 1987.
- HO, L. C. Tomato. In: ZAMSKI, E.; SCHAFFER, A. A. **Photoassimilate distribution in plants and crops: source-sink relationships**. New York: Marcel Dekker, 1996. p.709- 728.
- HOMMOND, J. B. W. et al. Source-sink relationships and carbon metabolism in tomato leaves. II. Carbohydrate pools and catabolic enzymes. **Annals of Botany**, London, v.53, p.307-314, 1984.
- HURD, R. G.; GAY, A. P.; MOUNTIFIELD, A. C. The effect of partial flower removal on the relation between root, shoot and fruit growth in the indeterminate tomato. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v.93, n.1, p.77-89, 1979.
- JEWISS, O. R.; WOLEGDE, J. The effect of age on the rate of apparent photosynthesis in leaves of Tall Fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). **Annals of Botany**, London, v.31, n.124, p.661-671, 1967.
- JONES, H. G. **Plants and microclimate - A quantitative approach to environmental plant physiology**. 2.ed. Melbourne: Cambridge University Press, 1992. 428p.
- KASIM, K.; DENNETT, M. D. Radiation absorption and growth of *Vicia faba* under shade at two densities. **Annals of Applied Biology**, Warwick, v.109, n.3, p.639-650, 1986.
- KURATA, K. Role of reflection light transmissivity of greenhouses. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.52, p.319-331, 1990.
- LAMBERS, H.; CHAPIN, F. S.; PONS, T.L. **Plant physiological ecology**. New York: Springer, 1998. 540p.
- LARCHER, W. **Ecofisiologia vegetal**. Rima: São Carlos, 2000. 531.

- LEMEUR, R.; BLAD, B. L. A critical review of light models for estimating the shortwave radiation regime of plant canopies. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.14, p.255-286, 1974.
- LONGUENESSE, J. J. Température nocturne et photosynthèse. III. Influence de la température appliquée pendant une nuit sur les échanges gazeux de la tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). **Agronomie**, v.2, n.9, p.805-811, 1982.
- LOOMIS, R. S.; CONNOR, D. J. **Crop Ecology**: Productivity and management in agricultural systems. Melbourne: Cambridge University Press, 1992. 536p.
- LÓPEZ, G. et al. Estimation of hourly global photosynthetically active radiation using artificial neural network models. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.107, p.279-291, 2001.
- MAHER, M. J. Growth and nutrient content of a glasshouse tomato crop grown in peat. **Science Horticulturae**, Amsterdam, v.4, p.23-26, 1976.
- MANZANARES, M. et al. Yield and development of kenaf (*Hibiscus cannabinus* L.) crop in relation to water and interception radiation, **Biomass and Bioenergy**, Oxford, v.5, n.5, p.337-345. 1993.
- MARCELIS, L. F. M. Effect of sink demand on photosynthesis. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v.42, p.1387-1392, 1991.
- McAVOY, R. J.; JANES, H. W. Tomato plant photosynthetic activity as related to canopy age and tomato development. **Journal of the American Society of Horticultural Science**, Alexandria, v.114, n.3, p.478-482, 1989.
- McCREE, K. J. Test of current definitions of photosynthetically active radiation against leaf photosynthesis data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v.10, p.443-453, 1972.
- MEDLYN, B. E. Physiological basis of the light use efficiency model. **Tree Physiology**, Victoria, v.18, p.167-176, 1998.
- MONSI, M.; SAEKI, T. The light factor in plant communities and its significance for dry matter production. **Japanese Journal of Botany**, Tokyo, v.14, p.22-52, 1953.
- MONTEITH, J. L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Proceedings of Royal Society of London**, London, v.281, p.277-294, 1977.
- MONTEITH, J. L.; UNSWORTH, M. H. **Principles of environmental physics**. 2. ed. Great Britain: Edward Arnold, 1990. 291p.

- MOSS, D. N. Photosynthesis, respiration, and photorespiration in higher plants. In: TESAR, M. B. (ed.) **Physiological basis of crop growth and development**. Madison: American Society of Agronomy Crop Science Society of America, 1984. p.131-151.
- MÜLLER, A. G. **Modelagem da matéria seca e do rendimento de grãos de milho em relação à disponibilidade hídrica**. 2001. 120f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-graduação em Fitotecnia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.
- PANDOLFO, C. **Parâmetros básicos para o uso na modelagem do rendimento de matéria seca em alfafa (*Medicago sativa* L.)**. 1995. 128f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1995.
- PAPADOPOULOS, A. P.; ORMROD, D. P. Plant spacing effects on light interception by greenhouse tomatoes. **Canadian Journal of Plant Science**, Ottawa, v.68, p.1197-1208, 1988.
- PAPADOPOULOS, A. P.; PARARAJASINGHAM, S. The influence of plant spacing on light interception and use in greenhouse tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill): A review. **Scientia Horticulturae**, Amsterdam, v.69, p.1-29, 1997.
- PEARCE, B. D.; GRANGE, R. I.; HARDWICK, K. The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments. **Journal of Horticultural Science**, Asford, v.68, p.1-11, 1993.
- PELUZIO, J. M.; CASALI, V. W. D.; LOPES, N. F. Partição de assimilados em tomateiro após a poda apical. **Horticultura Brasileira**, Brasília, v.13, n.1, p.41-43, 1995.
- PENG, S.; KRIEG, D. R. Single leaf and canopy photosynthesis response to plant age in cotton. **Agronomy Journal**, Madison, v.83, p.704-708, 1991.
- PEREIRA, A. R. **Introdução à micrometeorologia**. Piracicaba: ESALQ/USP, 1996. Apontamentos do curso de micrometeorologia do Departamento de Física e Meteorologia da ESALQ. Não publicado.
- PEZZOPANE, J. E. M.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; ORTOLANI, A. A. Modificações micrometeorológicas provocadas por estufa com cobertura plástica. **Bragantia**, Campinas, v.54, n.2, p.419-425, 1995.
- POLLET, I. V.; PIETERS, J. G. Laboratory measurements of PAR transmittance of wet and dry greenhouse cladding materials. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.93, p.149-152, 1999.

- RICOTA, C.; AVENA, G. C. Relation between vegetation canopy surface temperature and the sun-surface geometry in a mountainous region of central Italy. **International Journal of Remot Sensing**, Dundee, v.18, n.14, p.3091-3096, 1997.
- ROSATI, A.; BEDECK, F. W.; DEJONG, T. M. Estimating canopy light interception and absorption using leaf mass per unit leaf area in *Solanum melonagena*. **Annals of Botany**, London, v.88, p.101-109, 2001.
- ROSENBERG, N. J. **Microclimate**: The biological environment. New York: John Wiley & Sons, 1974. 314p.
- RUSSELL, G.; JARVIS, P. G.; MONTEITH, J. L. Absorption of radiation by canopies and stand growth. In: RUSSELL, G.; MARSHALL, B.; JARVIS, P. G. (Eds) **Plant Canopies**: Their Growth, Form and Function. Cambridge University Press: Cambridge, 1989. p.21-39. (Society for Experimental Biology Seminar Series, 31).
- SALISBURY, F. B.; ROSS, C. W. **Fisiología vegetal**. México: Grupo Editorial Iberoamérica, 1994. 758p.
- SASSENATH-COLE, G. F. Dependence of canopy light distribution on leaf and canopy structure for cotton (*Gossypium*) species. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.77, p.55-72, 1995.
- SASSENATH-COLE, G.F. et al. Photon flux density versus leaf senescence in determining photosynthetic efficiency and capacity of *Gossypium hirsutum* L. leaves. **Environmental and Experimental Botany**, Great Britain, v.36, n.4, p.439-446, 1996.
- SEGOVIA, et al. Comparação do crescimento e desenvolvimento da alface (*Lactuca sativa* L.) no interior e no exterior de uma estufa de polietileno em Santa Maria, RS. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.27, n.1, p.37-41, 1997.
- SILVIUS, J. E.; KREMER, D. F.; LIU, D. R. Carbon assimilation and translocation in soybean leaves at different stages of development. **Plant Physiology**, Rockville, v.62, n.1, p.54-58, 1978.
- SINCLAIR, T. R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: a review. **Crop Science**, Madison, v.29, p.98-105, 1989.
- SINCLAIR, T. R.; SHIRAIWA, T. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution radiation. **Crop Science**, Madison, v. 33, p.808-812, 1993.
- SINCLAIR, T. R.; SHIRAIWA, T.; HAMMER, G. L. Variation in crop radiation-use efficiency with increased diffuse radiation. **Crop Science**, Madison, v.32, p.1281-1284, 1992.

- SIVAKUMAR, M. V. K.; VIRMANI, S. M. Crop productivity in relation to interception of photosynthetically active radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v.31, p.131-141, 1984.
- SOUZA, J. L.; ESCOBEDO, J. F. Balanço de radiação em cultivos de feijão-vagem com e sem cobertura de polietileno. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.32, n.1, p.1-15, 1997.
- THIMIJJAN, R. W.; HEINS, R. D. Photometric, radiometric, and quantum light units of measure: a review of procedures for interconversion. **HortScience**, Alexandria, v.18, n.6, p.818-822, 1983.
- VARLET-GRANCHER, C. et al. Mise au point: rayonnement solaire absorbé ou intercepté par un couvert végétal. **Agronomie**, Paris, v.9, p.419-439, 1989.
- WARREN WILSON, J. Control of crop processes. In: REES, A. R. et al. **Crop processes in controlled environment**. London: Academic press, 1972. P.7-30.
- WARREN WILSON, J.; HAND, D. W.; HANNAH, M.A. Light interception and photosynthetic efficiency in some glasshouse crops. **Journal of experimental Botany**, Oxford, v.43, n.248, p.363-373, 1992.
- XU, H. L.; et al. Photosynthesis in leaves, fruits, stem and petioles of greenhouse-grown tomato plants. **Photosynthetica**, Prague, v.33, n.1, p.113-123, 1997.

7. APÊNDICES

APÊNDICE 1: Dias após o transplante (DAT) e as respectivas datas, durante os dois ciclos de desenvolvimento da cultura do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO, Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Primeiro ciclo				Segundo ciclo			
DAT	Data	DAT	Data	DAT	Data	DAT	Data
0	18/10/99	56	13/12/99	0	15/02/00	56	11/04/00
1	19/10/99	57	14/12/99	1	16/02/00	57	12/04/00
2	20/10/99	58	15/12/99	2	17/02/00	58	13/04/00
3	21/10/99	59	16/12/99	3	18/02/00	59	14/04/00
4	22/10/99	60	17/12/99	4	19/02/00	60	15/04/00
5	23/10/99	61	18/12/99	5	20/02/00	61	16/04/00
6	24/10/99	62	19/12/99	6	21/02/00	62	17/04/00
7	25/10/99	63	20/12/99	7	22/02/00	63	18/04/00
8	26/10/99	64	21/12/99	8	23/02/00	64	19/04/00
9	27/10/99	65	22/12/99	9	24/02/00	65	20/04/00
10	28/10/99	66	23/12/99	10	25/02/00	66	21/04/00
11	29/10/99	67	24/12/99	11	26/02/00	67	22/04/00
12	30/10/99	68	25/12/99	12	27/02/00	68	23/04/00
13	31/10/99	69	26/12/99	13	28/02/00	69	24/04/00
14	1/11/99	70	27/12/99	14	29/02/00	70	25/04/00
15	2/11/99	71	28/12/99	15	01/03/00	71	26/04/00
16	3/11/99	72	29/12/99	16	02/03/00	72	27/04/00
17	4/11/99	73	30/12/99	17	03/03/00	73	28/04/00
18	5/11/99	74	31/12/99	18	04/03/00	74	29/04/00
19	6/11/99	75	01/01/00	19	05/03/00	75	30/04/00
20	7/11/99	76	02/01/00	20	06/03/00	76	01/05/00
21	8/11/99	77	03/01/00	21	07/03/00	77	02/05/00
22	9/11/99	78	04/01/00	22	08/03/00	78	03/05/00
23	10/11/99	79	05/01/00	23	09/03/00	79	04/05/00
24	11/11/99	80	06/01/00	24	10/03/00	80	05/05/00
25	12/11/99	81	07/01/00	25	11/03/00	81	06/05/00
26	13/11/99	82	08/01/00	26	12/03/00	82	07/05/00
27	14/11/99	83	09/01/00	27	13/03/00	83	08/05/00
28	15/11/99	84	10/01/00	28	14/03/00	84	09/05/00
29	16/11/99	85	11/01/00	29	15/03/00	85	10/05/00
30	17/11/99	86	12/01/00	30	16/03/00	86	11/05/00
31	18/11/99	87	13/01/00	31	17/03/00	87	12/05/00
32	19/11/99	88	14/01/00	32	18/03/00	88	13/05/00
33	20/11/99	89	15/01/00	33	19/03/00	89	14/05/00
34	21/11/99	90	16/01/00	34	20/03/00	90	15/05/00
35	22/11/99	91	17/01/00	35	21/03/00	91	16/05/00
36	23/11/99	92	18/01/00	36	22/03/00	92	17/05/00
37	24/11/99	93	19/01/00	37	23/03/00	93	18/05/00
38	25/11/99	94	20/01/00	38	24/03/00	94	19/05/00
39	26/11/99	95	21/01/00	39	25/03/00	95	20/05/00
40	27/11/99	96	22/01/00	40	26/03/00	96	21/05/00
41	28/11/99	97	23/01/00	41	27/03/00	97	22/05/00
42	29/11/99	98	24/01/00	42	28/03/00	98	23/05/00
43	30/11/99	99	25/01/00	43	29/03/00	99	24/05/00
44	1/12/99	100	26/01/00	44	30/03/00	100	25/05/00
45	2/12/99	101	27/01/00	45	31/03/00	101	26/05/00
46	3/12/99	102	28/01/00	46	01/04/00	102	27/05/00
47	4/12/99	103	29/01/00	47	02/04/00	103	28/05/00
48	5/12/99	104	30/01/00	48	03/04/00	104	29/05/00
49	6/12/99	105	31/01/00	49	04/04/00	105	30/05/00
50	7/12/99	106	01/02/00	50	05/04/00	106	31/05/00
51	8/12/99	107	02/02/00	51	06/04/00	107	01/06/00
52	9/12/99	108	03/02/00	52	07/04/00	108	02/06/00
53	10/12/99	109	04/02/00	53	08/04/00	109	03/06/00
54	11/12/99	110	05/02/00	54	09/04/00	110	04/06/00
55	12/12/99			55	10/04/00	111	05/06/00

APÊNDICE 2: Radiação solar global (Rg) e radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA_{inc}) nos ambientes com tela (CT), estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE) nas primeira e segunda épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO, Eldorado do Sul, RS, 1999/2000.

	Rg	RFA _{inc}			Rg	RFA _{inc}			
	MJ m ⁻² dia ⁻¹	FE	ST	CT	MJ m ⁻² dia ⁻¹	FE	ST	CT	
18/Out	24,60	40,49	29,25	26,96	12/Dez	21,57	33,27	22,35	20,88
19/Out	25,57	42,09	30,39	28,06	13/Dez	21,68	29,89	22,80	21,48
20/Out	26,54	43,64	31,53	29,11	14/Dez	21,98	36,19	25,59	23,90
21/Out	23,83	39,21	28,33	26,14	15/Dez	17,03	26,87	19,01	17,73
22/Out	16,66	27,42	19,79	18,28	16/Dez	16,53	26,87	19,83	18,65
23/Out	26,15	43,05	31,08	28,70	17/Dez	22,80	36,97	26,78	25,23
24/Out	24,80	40,81	29,48	27,19	18/Dez	32,03	52,28	38,34	35,74
25/Out	11,82	19,42	14,03	12,98	19/Dez	29,25	48,03	34,55	32,26
26/Out	15,89	26,14	18,87	17,41	20/Dez	30,43	50,59	36,61	34,46
27/Out	25,77	42,41	30,62	28,24	21/Dez	26,62	43,51	30,98	29,02
28/Out	24,60	40,49	29,25	26,96	22/Dez	25,08	40,99	28,52	27,01
29/Out	23,05	37,93	27,37	25,27	23/Dez	31,80	52,46	37,66	35,28
30/Out	24,02	39,53	28,56	26,37	24/Dez	30,27	49,58	35,33	33,18
31/Out	24,60	40,49	29,25	26,96	25/Dez	30,75	51,00	36,38	34,09
01/Nov	25,77	42,41	30,62	28,24	26/Dez	30,67	50,77	36,19	33,82
02/Nov	5,04	8,27	5,99	5,53	27/Dez	28,80	48,44	33,36	31,58
03/Nov	23,05	37,93	27,37	25,27	28/Dez	19,41	31,94	22,76	21,34
04/Nov	5,23	8,59	6,22	5,76	29/Dez	13,62	22,39	14,17	13,21
05/Nov	8,52	14,03	10,15	9,37	30/Dez	8,35	13,76	9,37	8,77
06/Nov	28,87	47,48	34,32	31,67	31/Dez	10,79	17,73	11,65	10,79
07/Nov	27,32	44,92	32,45	29,98	01/Jan	21,13	34,78	24,91	22,67
08/Nov	12,20	20,06	14,49	13,39	02/Jan	27,42	45,11	30,34	27,79
09/Nov	20,19	31,94	24,36	22,58	03/Jan	19,27	31,72	20,38	18,60
10/Nov	19,28	30,02	23,54	21,84	04/Jan	21,21	34,91	27,92	25,82
11/Nov	29,98	48,35	38,11	35,37	05/Jan	29,49	48,53	35,55	32,81
12/Nov	28,63	46,39	36,42	33,82	06/Jan	26,88	44,24	33,32	31,08
13/Nov	26,54	42,73	32,72	30,53	07/Jan	30,21	49,72	36,19	33,54
14/Nov	29,70	49,22	38,11	35,51	08/Jan	29,70	48,85	36,15	33,59
15/Nov	30,26	50,64	38,98	36,24	09/Jan	29,85	49,08	36,19	33,32
16/Nov	30,21	49,72	38,11	35,60	10/Jan	23,67	38,94	30,30	28,38
17/Nov	30,61	50,13	37,89	35,51	11/Jan	29,05	47,80	34,41	31,81
18/Nov	30,53	50,18	37,52	35,10	12/Jan	25,86	39,94	28,06	25,59
19/Nov	29,05	47,80	35,46	33,09	13/Jan	15,77	25,96	19,29	17,87
20/Nov	24,02	38,98	29,02	27,47	14/Jan	23,83	39,21	27,56	25,82
21/Nov	25,50	41,54	31,62	29,80	15/Jan	14,12	23,22	16,36	15,17
22/Nov	27,71	45,84	34,14	32,26	16/Jan	20,63	33,96	23,90	21,94
23/Nov	26,92	43,14	31,26	29,34	17/Jan	19,50	32,08	21,57	19,97
24/Nov	24,83	39,76	28,33	26,46	18/Jan	11,06	18,19	12,06	11,11
25/Nov	29,67	49,04	35,83	33,41	19/Jan	30,80	50,68	35,87	33,27
26/Nov	17,54	27,92	19,61	18,19	20/Jan	30,10	49,54	36,33	33,77
27/Nov	19,23	31,76	23,67	21,98	21/Jan	15,40	25,36	18,33	16,91
28/Nov	31,15	51,28	38,43	35,74	22/Jan	11,05	18,19	13,12	12,11
29/Nov	31,24	51,96	38,30	35,65	23/Jan	19,59	32,22	23,26	21,48
30/Nov	30,93	51,64	38,02	35,60	24/Jan	10,05	16,54	11,93	11,01
01/Dez	30,40	50,91	37,20	34,87	25/Jan	23,78	39,12	28,24	26,09
02/Dez	25,47	42,41	30,12	28,33	26/Jan	22,94	37,75	27,24	25,18
03/Dez	8,64	14,44	10,19	9,46	27/Jan	24,45	40,22	29,07	26,83
04/Dez	28,27	47,89	35,01	32,72	28/Jan	22,94	37,75	27,24	25,18
05/Dez	27,45	46,20	33,13	30,80	29/Jan	16,58	27,28	19,70	18,19
06/Dez	7,56	12,43	8,96	8,27	30/Jan	6,70	11,01	7,95	7,36
07/Dez	30,79	51,55	37,61	34,82	31/Jan	13,23	21,75	15,72	14,49
08/Dez	22,28	36,65	26,46	24,45	01/Fev	15,40	25,36	18,33	16,91
09/Dez	16,08	26,46	19,10	17,64	02/Fev	9,21	15,17	10,92	10,10
10/Dez	29,25	48,12	34,78	32,08	03/Fev	14,40	23,67	17,09	15,81
11/Dez	30,41	51,05	37,11	34,69					

APÊNDICE 2: continuação.....

	Rg	RFA				Rg	RFA		
	MJ m ⁻² dia ⁻¹	mol m ⁻² dia ⁻¹				MJ m ⁻² dia ⁻¹	mol m ⁻² d ⁻¹		
		FE	ST	CT			FE	ST	CT
15/Fev	10,85	18,33	12,89	11,88	10/Abr	13,82	23,35	15,13	13,80
16/Fev	24,22	40,95	28,79	26,55	11/Abr	3,16	5,35	3,29	2,97
17/Fev	25,96	43,92	30,85	28,47	12/Abr	6,31	10,65	6,40	5,71
18/Fev	27,51	46,52	32,68	30,16	13/Abr	10,51	17,78	11,52	10,19
19/Fev	26,15	44,24	31,08	28,70	14/Abr	17,77	30,07	19,61	17,78
20/Fev	20,73	35,05	24,63	22,71	15/Abr	17,88	30,25	19,88	18,55
21/Fev	12,01	20,29	14,26	13,16	16/Abr	12,86	21,75	14,76	13,66
22/Fev	18,02	30,48	21,39	19,74	17/Abr	1,42	2,42	1,74	1,55
23/Fev	22,67	38,34	26,92	24,86	18/Abr	10,38	17,55	11,74	10,47
24/Fev	22,08	37,34	26,23	24,22	19/Abr	11,67	19,74	13,07	12,06
25/Fev	24,41	41,27	29,02	26,78	20/Abr	7,15	12,11	7,91	7,08
26/Fev	10,75	18,19	12,80	11,79	21/Abr	8,51	14,40	8,91	8,09
27/Fev	20,73	35,05	24,63	22,71	22/Abr	17,91	30,30	19,15	17,64
28/Fev	11,24	19,01	13,34	12,34	23/Abr	18,25	30,85	19,01	17,73
29/Fev	6,39	10,83	7,59	6,99	24/Abr	17,28	29,20	18,51	16,73
01/Mar	5,04	9,51	6,67	6,17	25/Abr	15,60	25,09	16,68	15,04
02/Mar	23,05	42,14	29,61	27,33	26/Abr	16,55	27,47	18,60	17,00
03/Mar	5,23	27,37	19,24	17,73	27/Abr	15,14	25,04	16,63	15,36
04/Mar	8,52	11,15	7,86	7,27	28/Abr	3,85	6,35	4,07	3,70
05/Mar	28,87	34,59	24,31	22,44	29/Abr	13,95	22,44	14,58	13,39
06/Mar	27,32	12,80	9,00	8,32	30/Abr	14,88	24,27	16,27	14,94
07/Mar	12,20	39,12	27,51	25,36	01/Mai	10,01	16,45	11,01	10,15
08/Mar	14,29	25,36	18,05	16,31	02/Mai	6,55	10,79	7,22	6,40
09/Mar	19,29	31,58	24,13	21,89	03/Mai	7,88	12,89	8,59	7,68
10/Mar	21,64	38,34	29,89	27,01	04/Mai	7,67	12,75	8,55	7,81
11/Mar	18,62	33,00	24,68	22,21	05/Mai	4,49	7,68	5,16	4,39
12/Mar	17,61	31,21	23,44	21,11	06/Mai	9,00	14,72	8,96	8,36
13/Mar	23,15	41,08	31,94	28,93	07/Mai	14,90	25,18	17,69	16,36
14/Mar	22,48	39,71	30,66	27,60	08/Mai	15,07	25,50	17,91	16,54
15/Mar	18,90	35,14	26,83	23,90	09/Mai	15,74	26,60	18,69	17,27
16/Mar	22,37	39,80	30,62	27,65	10/Mai	11,63	19,29	12,70	11,70
17/Mar	16,66	31,49	23,31	20,84	11/Mai	12,17	19,15	12,48	11,33
18/Mar	20,99	36,38	27,28	24,77	12/Mai	14,71	24,40	16,27	14,90
19/Mar	20,49	36,01	26,78	24,18	13/Mai	14,74	24,59	15,63	14,76
20/Mar	21,94	39,99	30,48	27,83	14/Mai	8,43	13,66	8,82	8,04
21/Mar	15,69	24,63	17,37	15,95	15/Mai	6,78	10,92	7,13	6,49
22/Mar	14,79	27,69	20,38	18,55	16/Mai	3,09	5,12	3,52	3,24
23/Mar	20,46	38,11	28,38	25,96	17/Mai	4,03	6,67	4,30	3,93
24/Mar	10,28	18,83	13,39	12,29	18/Mai	11,81	19,70	12,43	11,65
25/Mar	20,75	35,65	25,77	23,31	19/Mai	11,67	19,29	12,66	11,74
26/Mar	21,07	36,47	27,01	24,77	20/Mai	12,51	20,79	12,61	12,11
27/Mar	7,70	13,02	9,14	8,45	21/Mai	12,00	19,79	11,93	11,70
28/Mar	17,92	30,30	21,30	19,65	22/Mai	12,29	20,20	12,20	11,88
29/Mar	15,45	25,09	17,50	15,77	23/Mai	9,63	15,86	9,87	9,32
30/Mar	17,33	30,53	22,30	20,34	24/Mai	13,25	21,43	13,48	12,84
31/Mar	7,79	12,48	8,59	7,72	25/Mai	12,21	20,20	12,61	12,25
01/Abr	16,38	29,80	21,48	19,61	26/Mai	10,09	18,87	12,06	11,29
02/Abr	20,76	37,11	27,05	24,54	27/Mai	11,93	22,62	13,98	12,98
03/Abr	21,41	36,01	26,51	24,36	28/Mai	10,88	21,07	12,84	11,97
04/Abr	15,81	25,23	18,10	16,41	29/Mai	11,19	18,92	12,48	12,11
05/Abr	16,46	27,88	20,29	18,37	30/Mai	10,76	18,19	12,20	13,48
06/Abr	17,55	28,88	20,84	19,24	31/Mai	5,08	8,59	6,03	5,62
07/Abr	19,26	31,67	22,85	21,11	01/Jun	8,28	13,98	9,83	9,09
08/Abr	19,58	32,22	23,26	21,48	02/Jun	11,04	18,65	13,12	12,11
09/Abr	15,59	26,37	18,33	16,77					

APÊNDICE 3: Temperaturas médias, máximas e mínimas diárias, ocorridas nas duas épocas de cultivo do tomateiro, nos ambientes com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Primeira época

DAT	Médias diárias (°C)			Máximas diárias (°C)			Mínimas diárias (°C)		
	CT	ST	FE	CT	ST	FE	CT	ST	FE
22	17,54	17,06	16,05	26,30	22,02	19,64	11,92	11,91	12,11
23	18,08	17,15	16,07	29,35	29,77	25,21	9,97	10,13	9,76
24	23,21	22,28	21,11	43,92	43,96	35,69	10,53	10,75	9,78
25	25,04	24,62	22,98	41,44	41,10	38,57	15,39	15,58	14,31
26	22,71	23,16	20,52	31,35	32,48	24,33	15,85	15,77	15,62
27	23,30	23,56	22,47	28,23	28,48	27,35	19,00	19,14	18,64
28	22,12	22,21	22,01	27,15	27,35	26,52	17,63	17,71	18,22
29	21,24	21,18	21,64	27,26	26,73	26,51	16,30	16,44	17,66
30	21,13	20,87	21,40	28,79	27,62	27,30	15,27	15,31	16,70
31	21,80	21,35	21,21	29,87	28,63	27,81	14,69	14,75	14,05
32	22,72	22,28	21,87	29,74	28,54	28,59	15,21	15,18	14,54
33	23,19	22,70	21,89	30,00	28,73	26,53	18,95	18,97	18,09
34	23,30	22,92	22,45	29,80	28,48	28,16	18,97	18,71	18,03
35	23,04	22,57	22,23	28,26	26,54	25,22	18,82	18,97	19,19
36	22,89	22,68	22,29	30,19	30,23	29,74	17,00	16,97	16,06
37	22,84	22,78	22,36	29,16	29,06	28,18	16,87	16,93	16,11
38	24,49	24,05	23,34	30,09	28,52	27,73	18,25	18,31	17,49
39	22,96	22,85	21,35	27,68	27,08	26,16	18,68	18,45	17,47
40	21,01	20,58	20,00	26,57	25,38	24,13	17,02	16,92	15,96
41	22,41	21,95	21,74	29,31	27,42	26,01	17,36	17,21	17,05
42	22,51	22,12	22,18	31,05	29,45	28,49	14,93	15,08	14,28
43	23,68	23,38	23,74	30,00	29,69	29,67	16,82	16,80	16,57
44	24,82	24,79	25,49	31,79	30,88	30,42	18,00	18,34	20,89
45	26,30	26,35	25,96	34,34	33,72	33,44	20,08	20,23	21,16
46	23,97	24,09	22,76	27,55	26,94	25,68	20,80	21,23	21,15
47	25,23	25,38	24,89	30,50	30,94	30,40	20,14	20,30	19,85
48	24,93	24,80	24,00	31,05	30,99	29,49	19,71	19,98	19,34
49						*23,80			*15,80
50						*23,30			*10,20
51						*26,80			*16,30
52						*24,70			*18,40
53	23,95	23,62	23,48	30,24	29,07	28,18	18,22	18,20	19,97
54	23,88	23,54	23,33	30,89	29,55	28,86	17,59	17,69	17,55
55	23,89	23,66	23,80	30,37	29,12	28,61	17,91	18,00	17,99
56	24,44	24,07	23,58	31,67	30,01	29,28	21,12	21,29	21,35
57	24,41	24,43	23,68	29,05	28,92	28,09	21,29	21,45	20,41
58	22,36	22,46	21,87	26,18	26,32	25,91	19,01	19,09	19,26
59	23,63	23,17	22,90	29,56	27,83	26,79	20,22	20,18	19,88
60	23,65	23,17	23,09	28,92	27,59	26,57	19,06	19,20	18,78
61	24,22	23,87	23,99	30,79	29,94	29,71	17,82	17,80	19,21
62	26,07	25,96	25,34	35,59	35,37	34,95	17,88	17,96	17,50
63	24,37	23,82	23,39	28,93	27,54	26,52	19,82	19,82	19,80
64	23,47	23,24	23,10	31,52	29,73	29,19	18,43	19,21	19,57
65	24,51	24,02	23,59	31,57	30,22	29,51	19,85	20,04	20,10
66	22,74	22,35	22,10	27,85	26,75	25,69	15,96	15,69	18,06
67	24,46	24,20	23,58	33,22	31,89	31,01	15,60	15,97	15,45
68	26,26	25,94	25,31	35,64	33,97	33,32	18,31	18,36	17,94
69	28,51	28,36	27,87	37,26	37,21	36,38	19,61	19,80	19,32
70	29,95	29,90	29,82	38,66	38,05	37,49	22,01	22,29	21,69
71	26,20	25,91	25,84	31,15	29,67	28,47	22,40	22,75	23,23

APÊNDICE 3: continuação.....

DAT	Médias diárias (°C)			Máximas diárias (°C)			Mínimas diárias (°C)		
	CT	ST	FE	CT	ST	FE	CT	ST	FE
72	25,19	24,96	24,80	30,20	28,68	27,95	21,39	21,74	22,42
73	25,15	24,96	24,23	29,74	28,38	26,47	23,36	23,32	22,55
74	22,49	22,11	21,29	25,01	23,75	22,52	20,71	20,64	20,20
75	23,91	23,29	22,67	29,38	27,34	25,62	19,31	19,70	20,43
76	24,01	23,56	23,11	29,51	27,97	26,53	18,79	19,52	20,22
77	23,01	22,77	22,47	27,81	26,55	24,96	18,98	19,63	20,14
78	24,00	23,60	22,80	30,20	28,82	26,80	20,89	20,99	19,73
79	25,25	24,91	24,16	32,65	31,19	29,22	18,47	18,56	18,12
80	26,20	25,87	25,39	31,47	30,69	29,62	21,29	21,66	21,73
81	27,03	26,62	26,18	33,42	31,83	30,51	22,28	22,64	22,76
82	28,01	27,59	27,50	36,00	34,59	33,57	21,77	21,97	23,24
83	28,77	28,80	28,12	36,68	35,97	34,96	21,28	21,50	20,86
84	28,29	27,93	27,26	33,63	32,53	30,66	24,42	24,59	24,09
85	28,46	28,69	27,56	35,53	35,88	35,11	22,61	22,80	22,18
86	27,66	27,59	26,57	33,94	32,64	30,62	22,51	22,67	21,84
87	27,89	27,86	27,55	34,42	33,88	32,17	24,69	24,90	24,64
88	27,84	27,50	26,97	33,89	32,68	31,37	22,60	22,76	22,51
89	27,26	27,19	26,67	32,02	31,73	29,55	24,65	24,96	24,43
90	28,13	28,21	27,31	35,57	35,49	33,91	22,92	23,09	22,77
91	28,57	28,59	26,92	35,60	35,45	32,83	24,42	24,65	24,05
92	25,32	25,19	25,01	28,78	27,71	26,68	20,24	20,71	22,76
93	24,46	24,33	24,73	31,50	30,19	29,25	18,18	18,14	20,34

* Dados da estação meteorológica do IRGA - Cachoeirinha/RS.

APÊNDICE 3: continuação....

Segunda época

DAT	Médias diárias (°C)			Máximas diárias (°C)			Mínimas diárias (°C)		
	CT	ST	FE	CT	ST	FE	CT	ST	FE
2	23,93	23,29	24,28	31,05	29,86	34,38	18,12	17,63	19,64
3	24,42	23,98	23,89	30,83	29,93	28,62	18,42	18,35	19,69
4	24,56	23,57	23,51	32,00	30,22	29,62	18,20	18,01	17,42
5	25,13	24,19	24,02	32,49	30,35	29,79	18,82	18,62	18,41
6	25,16	24,52	23,94	31,46	29,93	28,48	20,19	20,03	19,03
7	25,83	24,88	24,35	32,19	29,64	28,72	21,02	20,86	19,91
8	26,58	25,99	24,32	34,11	32,10	30,30	21,40	21,15	20,24
9	26,61	25,95	24,90	34,20	32,23	31,26	20,60	20,30	19,31
10	26,60	26,27	24,95	33,40	32,83	30,89	20,31	20,11	19,07
11	26,46	25,92	25,48	33,59	31,87	31,24	21,96	21,81	21,27
12	29,32	28,92	28,15	38,54	36,71	35,39	23,07	22,97	23,38
13	25,68	25,40	24,47	27,80	27,16	26,46	23,35	23,15	22,87
14	22,64	22,55	22,29	23,63	23,56	23,04	21,58	21,58	20,71
15	22,82	22,70	22,39	24,60	24,11	23,22	21,20	21,14	21,27
16	27,60	27,23	25,96	34,38	34,13	31,23	23,30	23,25	22,69
17	25,74	25,56	24,67	31,43	30,26	28,77	23,35	23,20	22,06
18	23,98	23,80	22,91	27,81	26,68	25,11	22,85	22,71	21,69
19	26,14	25,86	24,45	31,76	31,42	28,62	22,03	21,89	21,32
20	24,89	24,82	23,64	28,38	28,17	25,22	23,67	23,52	22,52
21	24,23	23,94	23,33	28,72	28,35	25,85	19,53	19,41	21,36
22	22,15	21,85	21,76	28,24	27,33	25,83	17,70	17,50	17,64
23	22,57	22,14	22,54	28,02	27,42	26,21	17,30	17,14	17,46
24	23,00	22,40	22,47	30,10	28,39	27,69	17,35	17,24	16,94
25	23,24	22,91	22,65	31,29	30,60	28,63	17,97	17,84	17,64
26	23,45	23,00	22,96	36,54	34,98	31,46	18,39	18,45	18,96
27	23,50	22,82	22,86	33,77	31,89	31,08	18,31	16,92	16,24
28	25,06	24,37	24,08	31,42	30,04	29,00	19,13	18,93	18,37
29	25,53	25,10	24,68	31,81	30,07	29,17	21,43	21,34	21,04
30	26,71	26,25	25,72	34,13	33,12	32,02	20,33	20,25	19,88
31	25,74	25,56	24,15	36,85	36,82	29,84	22,02	21,94	20,66
32	22,77	22,45	21,82	27,27	26,27	24,68	18,06	17,82	16,91
33	21,50	21,08	21,12	27,07	25,91	25,64	16,00	15,88	15,03
34	23,02	22,50	22,76	31,16	29,86	28,93	16,63	16,55	16,16
35	23,48	23,27	23,00	29,04	28,63	27,68	17,20	17,19	16,56
36	23,96	23,60	23,70	28,24	26,98	26,53	20,80	20,85	21,69
37	25,99	25,46	25,31	32,53	31,11	30,23	20,98	20,80	21,34
38	22,26	22,21	22,11	26,38	26,24	25,75	19,80	19,61	18,80
39	22,05	21,81	21,63	27,70	26,92	26,36	16,74	16,78	15,99
40						*30,80			*11,90
41						*26,60			*18,00
42						*23,70			*15,40
43						*24,60			*9,50
44	23,23	22,82	22,73	28,20	27,81	26,98	18,53	18,15	18,18
45	22,00	21,79	21,39	24,36	24,09	23,44	20,57	20,36	20,18
46	22,27	21,93	21,59	26,33	25,31	24,28	17,60	17,41	17,10
47	20,16	19,61	19,61	25,96	24,49	23,29	14,13	14,19	13,84
48	20,34	20,06	21,15	26,91	25,74	25,46	14,86	14,78	15,94
49	21,20	21,15	22,18	26,82	26,29	26,03	15,65	15,86	19,17
50	23,96	23,74	23,74	30,84	30,18	29,86	19,32	19,10	19,73
51	24,55	24,35	23,97	31,60	31,04	30,30	18,75	18,73	18,45
52	25,35	25,04	24,84	32,42	32,03	31,05	20,05	19,94	19,45
53	26,12	25,84	25,82	34,73	34,12	33,65	19,43	19,36	19,44
54	24,81	24,48	24,58	29,43	28,24	27,21	22,38	22,21	22,82
55	24,88	24,80	24,34	31,27	30,99	30,74	20,46	20,44	20,08

APÊNDICE 3: continuação.....

DAT	Médias diárias (°C)			Máximas diárias (°C)			Mínimas diárias (°C)		
	CT	ST	FE	CT	ST	FE	CT	ST	FE
56	22,40	22,33	21,93	23,47	23,38	24,39	20,43	20,43	19,36
57	20,04	19,96	18,88	23,58	23,36	20,23	18,68	18,57	17,69
58	20,86	20,73	19,20	26,46	25,80	21,95	18,11	17,98	17,00
59	20,70	20,14	19,91	26,11	24,44	23,48	16,41	15,97	16,64
60	19,24	18,82	19,02	25,90	25,21	24,24	13,73	13,37	12,94
61	20,94	20,55	21,42	26,05	25,06	24,10	16,58	16,30	19,15
62	19,61	19,56	19,18	20,68	20,66	21,42	18,92	18,81	17,91
63	22,05	21,94	21,50	26,26	25,59	24,93	18,69	18,60	18,40
64	20,39	20,35	20,16	24,61	24,99	24,24	17,73	17,70	18,19
65	18,85	18,76	18,48	22,38	21,83	20,25	17,31	17,22	17,21
66	19,87	19,70	18,82	25,78	25,09	21,67	17,10	16,61	16,60
67	18,54	18,28	17,31	24,72	24,63	23,50	14,17	13,62	12,99
68	18,49	18,19	16,84	27,13	26,53	24,59	12,45	11,91	11,25
69	18,63	18,35	17,62	27,63	26,54	25,43	13,10	12,70	12,21
70	19,33	18,79	18,39	28,95	27,53	25,94	12,81	12,75	11,89
71	21,86	21,57	21,23	30,52	30,32	29,09	15,78	15,51	14,93
72	22,18	21,79	21,60	30,83	29,92	29,16	15,82	15,78	15,33
73	20,52	20,40	19,91	23,76	23,67	23,15	18,05	18,03	17,70
74	21,99	21,60	21,08	27,33	26,46	25,10	18,10	18,01	17,75
75	23,46	23,24	22,47	32,22	31,76	30,73	17,65	17,70	16,98
76	23,22	22,98	22,67	28,87	28,92	28,89	17,81	17,75	17,38
77	19,87	19,77	19,30	23,04	21,89	21,98	16,24	16,12	15,92
78	19,89	19,78	19,91	24,07	23,50	23,28	15,98	15,89	15,17
79	22,08	21,98	21,83	26,46	25,80	25,56	19,77	19,76	19,56
80	21,31	21,22	20,19	24,53	24,37	23,29	17,55	17,01	15,98
81	16,07	15,43	14,07	25,94	23,49	16,32	11,79	11,36	12,36
82						*20,40			*8,70
83						*22,20			*6,70
84						*21,60			*9,00
85	16,92	16,49	15,66	22,57	21,96	19,82	12,74	12,13	12,13
86	17,33	17,06	16,98	22,26	21,96	21,31	13,90	13,73	13,15
87	18,08	17,81	18,06	25,85	25,91	24,47	11,81	11,61	11,32
88	18,30	17,93	17,56	26,81	25,84	24,42	12,37	12,10	11,28
89	18,60	18,36	18,59	21,57	21,25	20,49	15,42	15,19	16,46
90	19,34	19,20	19,74	23,60	22,45	22,11	17,42	17,24	17,87
91	19,65	19,65	19,95	23,60	23,20	22,41	17,17	16,84	16,41
92	16,29	16,11	15,51	18,13	18,08	16,66	14,37	13,96	14,04
93	17,46	17,23	17,21	21,45	21,01	19,69	13,38	13,07	12,67
94	15,12	14,75	14,28	20,30	19,53	17,99	10,44	10,37	10,14
95	15,02	14,67	14,33	22,04	20,79	19,49	10,42	10,41	9,87
96	16,32	15,97	15,19	24,20	23,65	22,73	11,28	11,15	9,96
97	17,29	16,96	16,11	25,10	24,32	23,31	12,19	11,97	10,79
98	18,37	18,01	17,97	22,03	21,22	20,35	15,59	15,34	16,18
99	18,88	18,49	18,14	25,87	24,75	23,47	14,38	14,23	13,96
100	19,88	19,73	19,94	29,55	28,88	28,47	12,78	12,78	12,09
101	17,88	17,89	17,56	21,21	21,55	20,54	13,13	12,95	13,88
102	14,11	14,01	13,56	20,57	20,65	18,63	10,78	10,16	10,12
103	12,23	12,07	11,43	18,28	18,35	17,29	7,88	7,41	7,37
104	11,98	11,51	10,87	19,50	18,47	17,62	7,56	6,92	6,05
105	13,02	12,88	12,85	19,44	20,16	18,78	9,66	9,12	8,92
106	12,76	12,66	12,39	15,27	15,36	14,54	9,88	9,42	9,93
107	13,99	13,70	12,84	18,80	17,90	16,02	11,14	10,74	9,98
108	11,71	11,36	11,03	19,14	19,81	16,16	6,80	6,32	5,46
109	13,26	12,76	12,41	20,91	19,59	18,49	7,96	7,60	6,93
110	15,40	14,93	13,97	22,85	22,08	20,96	10,62	10,29	9,33
111	18,86	18,88	18,66	23,26	23,35	22,47	15,50	15,42	15,45
112	19,53	19,58	19,29	20,88	20,93	19,79	18,85	18,90	18,72

* Dados da estação meteorológica do IRGA - Cachoeirinha/RS.

APÊNDICE 4: Umidade relativa do ar nos ambientes de estufa com tela (CT) em ambiente de estufa sem tela (ST) e ambiente externo à estufa (FE) nas primeira e segunda épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Primeira época							
Umidade Relativa do ar (%)							
DAT	FE	ST	CT	DAT	FE	ST	CT
44	65,95			75	76,55		79,67
45	72,16	73,18	75,85	76	67,95	68,42	70,90
46	89,72	85,97	88,80	77	70,80	72,57	75,35
47	77,35	73,11	75,38	78	79,80	79,49	81,68
48	76,15	73,82	75,75	79	75,64	75,16	77,37
49	71,25			80	78,13	78,46	80,68
50	66,11	68,62	71,23	81	74,87	75,98	78,44
51	*76,50	80,72	82,26	82	72,25	75,23	77,94
52	*77,50	80,56	82,85	83	68,33	71,97	76,00
53	*74,00			84	78,28	81,08	83,99
54	*69,50			85	73,49	74,63	78,81
55	71,68	75,18	78,33	86	79,37	77,84	81,21
56	81,31	81,75	84,39	87	79,67	81,54	84,57
57	83,55	80,40	83,26	88	80,10	81,40	84,08
58	81,83	78,52	81,45	89	79,81	81,83	85,20
59	83,34	82,92	85,15	90	76,57	79,45	82,70
60	78,70	80,31	82,04	91	82,51	82,99	86,55
61	70,24	72,41	74,79	92	77,43	82,24	85,18
62	*70,50	74,89	78,16	93	67,74		
63	*67,00	72,89	75,65	94	68,96	72,75	76,18
64	70,78			95	67,51	70,70	74,31
65	74,48	78,97	81,69	96	74,98	78,16	81,61
66	60,19	67,60	70,56	97	74,73	84,26	87,69
67	69,18	68,84	71,69	98	71,05	77,77	80,73
68	73,08	72,81	75,43	99	81,99	86,02	88,66
69	68,58			100	66,25		
70	66,16			101	71,37		
71	76,44	80,05	82,91	102	62,45		
72	78,79	81,78	83,85	103	66,29		
73	87,79	87,28	89,43	104	69,01		
74	89,91	88,64	91,02	105	82,64		

* Dados da estação meteorológica do IRGA - Cachoeirinha/RS.

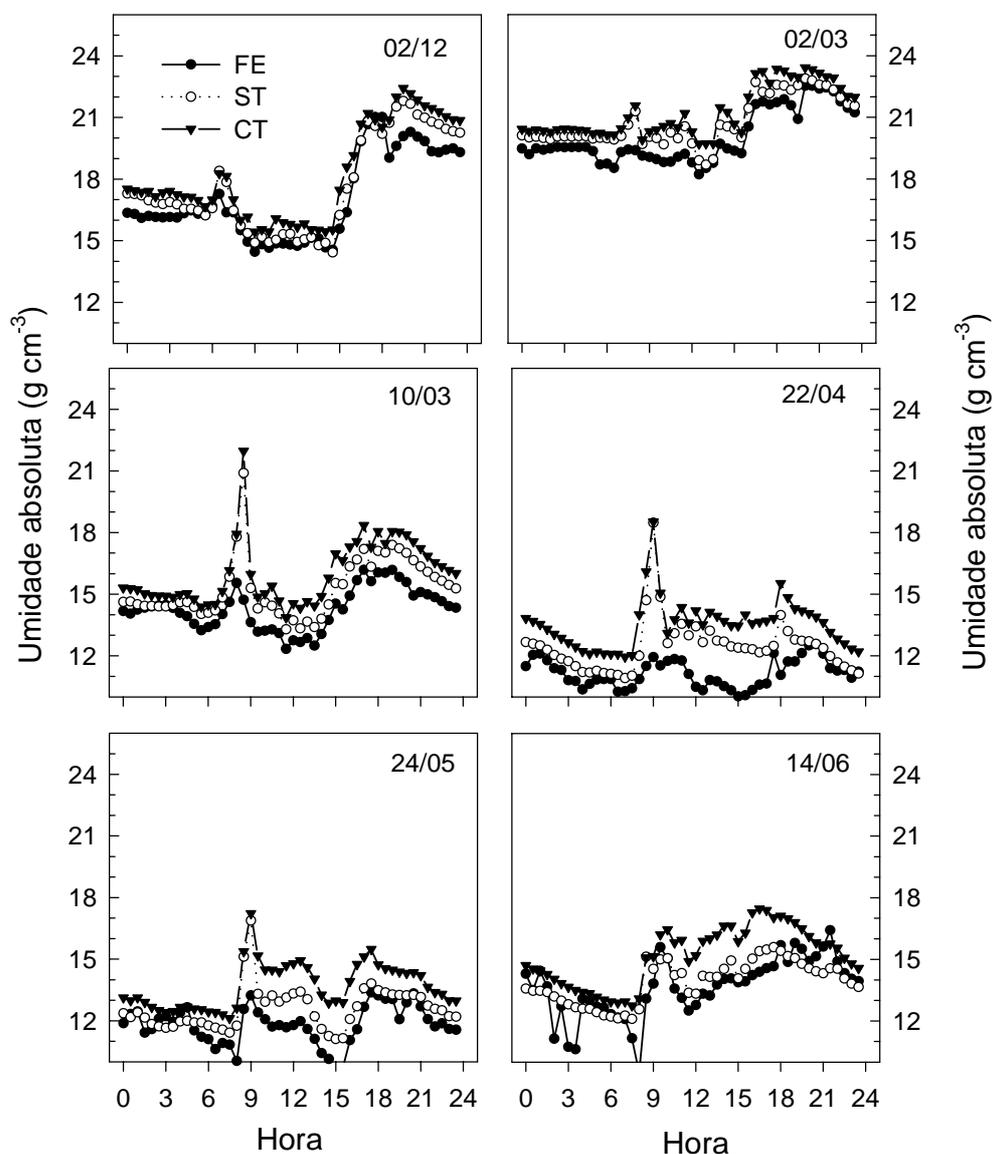
APÊNDICE 4: continuação....

Segunda época

Umidade relativa do ar (%)							
DAT	FE	ST	CT	DAT	FE	ST	CT
3	*64,00	67,77	68,39	56	86,39	91,39	96,64
4	*63,50	71,70	71,13	57	84,51	88,81	93,96
5	67,15	71,61	71,17	58	82,86	87,12	92,24
6	76,35	77,92	77,86	59	78,16	80,94	86,10
7	77,98	79,55	78,64	60	77,63	82,81	87,79
8	78,88	78,49	78,51	61	72,95	82,56	87,69
9	75,14	75,07	75,11	62	85,77	91,53	96,66
10	72,43	74,04	74,86	63	82,74	85,87	90,67
11	76,39	78,37	78,67	64	76,05	81,19	86,76
12	72,55	74,07	74,92	65	79,74	86,34	91,28
13	87,81	86,67	87,04	66	77,69	84,72	89,91
14	78,69	82,95	83,79	67	77,39	80,89	86,38
15	88,17	89,68	90,19	68	77,31	79,72	84,95
16	83,24	80,97	81,30	69	78,25	81,52	87,10
17	82,96	82,38	83,00	70	79,67	81,53	86,21
18	92,93	91,58	92,44	71	76,04	78,88	84,27
19	88,39	86,24	86,71	72	76,60	80,65	85,56
20	85,53	88,85	89,87	73	89,08	89,67	94,75
21	78,44	81,32	82,00	74	83,37	85,55	90,04
22	74,39	79,81	80,95	75	76,58	82,00	87,09
23	68,71	76,83	78,26	76	76,11	82,29	87,64
24	72,63	78,50	79,81	77	85,36	87,18	92,71
25	73,04	81,13	82,64	78	81,68	85,76	91,59
26	69,11	79,14	81,02	79	82,95	87,35	92,64
27	70,32	78,66	80,19	80	*88,50	90,88	95,59
28	73,05	77,78	79,17	81	*73,00		
29	77,94	81,58	83,15	82	*72,50	80,59	86,18
30	70,25	73,69	75,56	83	*70,00	81,14	86,52
31	78,59	82,81	85,74	84	*73,00	80,02	85,79
32	63,52	73,33	76,93	85	*72,00	83,50	88,68
33	66,44	74,11	77,79	86	*71,50		
34	66,51	73,49	77,11	87	*67,50		
35	72,14	76,94	81,28	88	*70,50		
36	75,38	82,35	86,46	89	84,84		
37	72,19	76,56	81,65	90	81,55		
38	82,35	84,88	91,17	91	81,31	88,16	94,31
39	71,65	74,53	80,28	92	85,45	89,87	95,04
40	71,05			93	79,89	84,40	89,39
41	87,57			94	79,39	83,13	88,31
42	67,40			95	81,97	84,74	89,78
43	73,75			96	81,00	82,71	87,94
44	72,11			97	82,29	83,74	89,02
45	85,55			98	80,67	86,58	91,65
46	77,89			99	77,46	80,82	85,83
47	71,88			100	72,13	77,01	82,98
48	68,36			101	79,28	82,18	88,24
49	67,19			102	75,96	80,27	86,41
50	74,25			103	77,65	81,18	87,28
51	76,27			104	78,26	80,47	86,20
52	75,71			105	76,90	81,38	87,51
53	73,13	75,89	81,54	106	84,85	87,39	93,08
54	78,60	85,12	90,21	107	78,30	81,51	87,29
55	80,60	84,69	89,94	108	78,48	82,48	87,95

* Dados da estação meteorológica do IRGA - Cachoeirinha/RS.

APÊNDICE 5: Umidade absoluta (g m^{-3}) em alguns dias das primeira e segunda épocas de cultivo do tomateiro, nos ambientes de estufa com tela (CT), de estufa sem tela (ST) e fora da estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

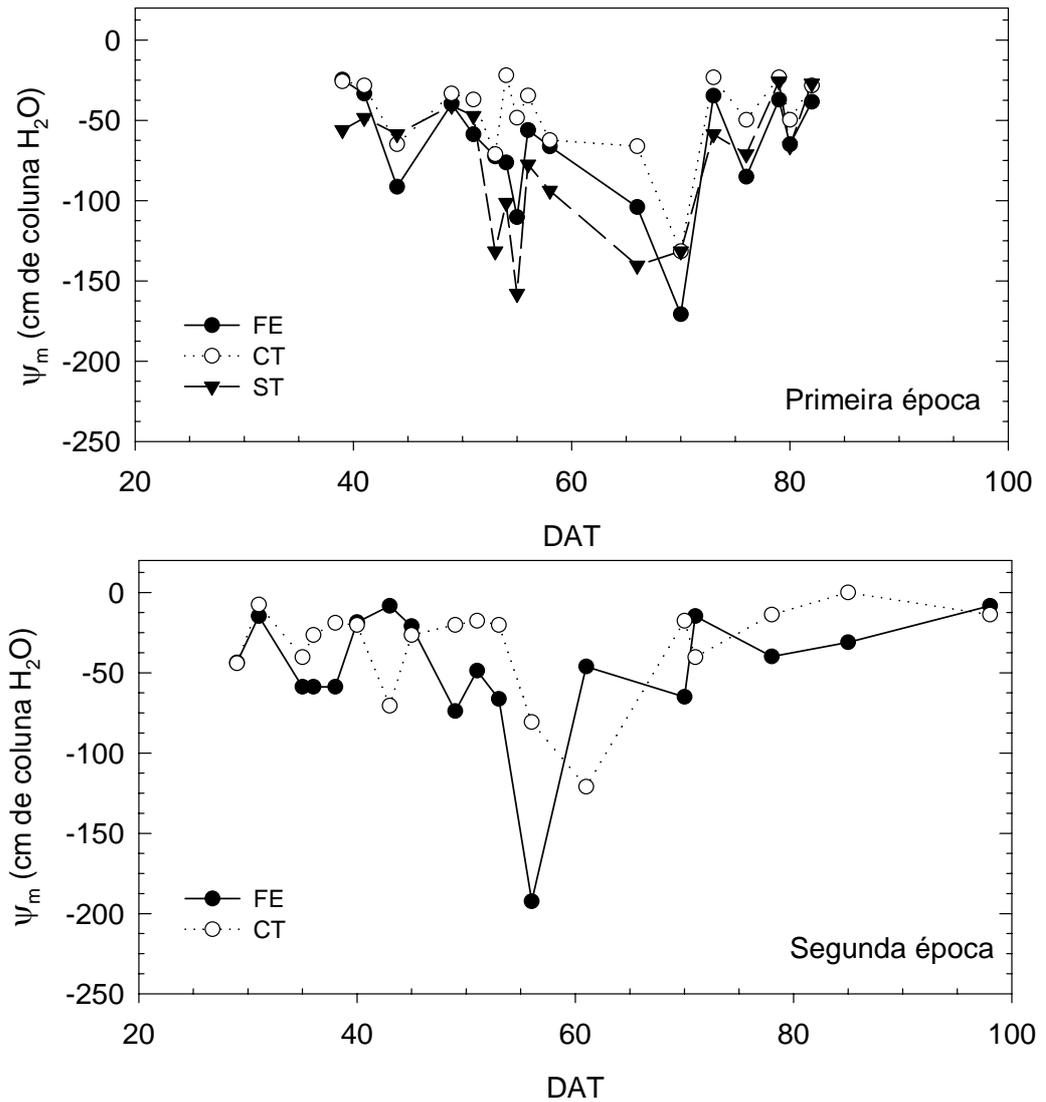


APÊNDICE 6 : Índice de área foliar (IAF) de tomateiro, em ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE) durante os dois ciclos da cultura. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

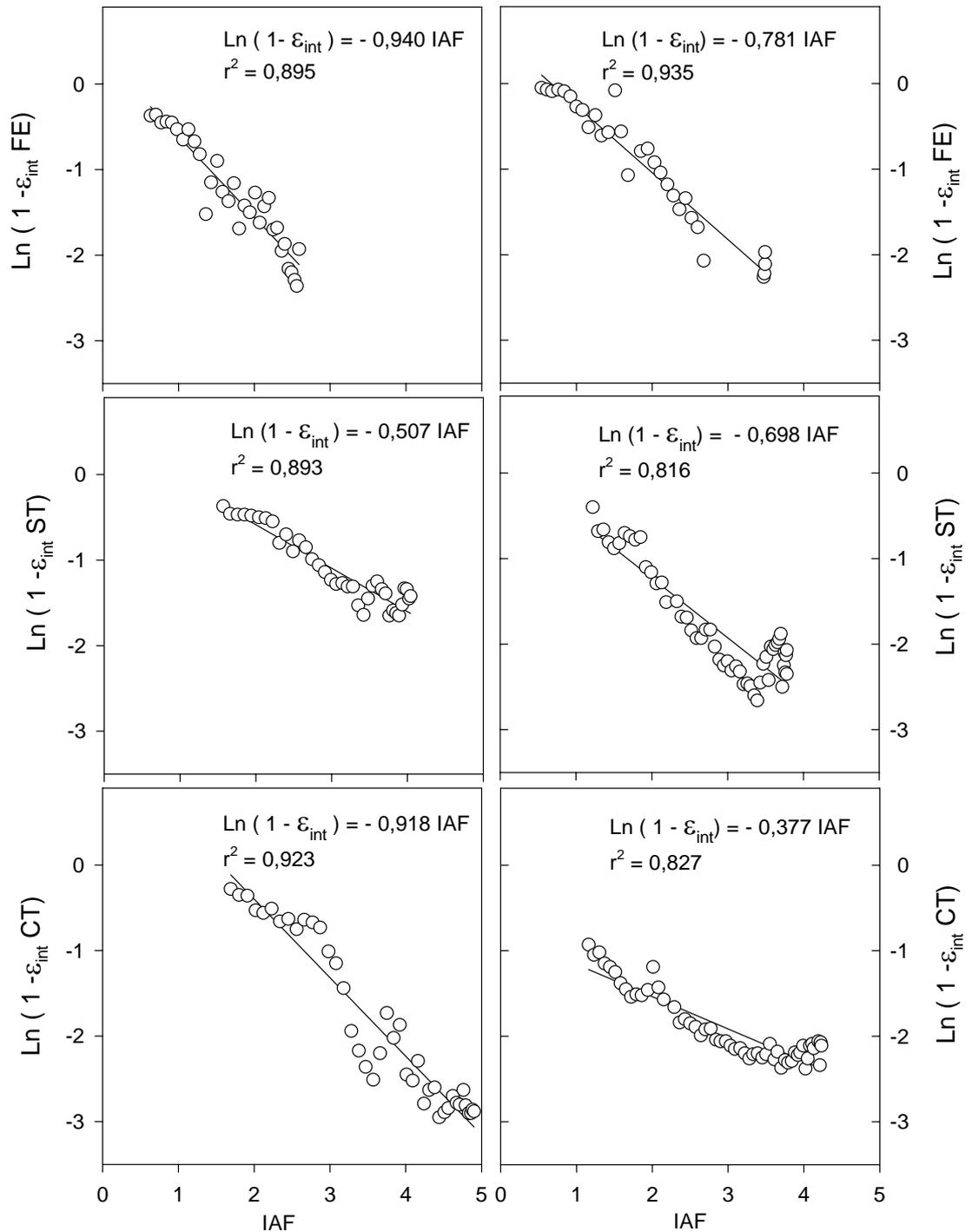
	Primeira época		
	Média FE	Média CT	Média ST
20/Out	0,007	0,007	0,007
04/Nov	0,12	0,17	0,17
10/Nov	0,18	0,50	0,50
17/Nov	2,10	2,00	2,76
24/Nov	0,97	2,44	2,55
01/Dez	1,43	4,60	2,24
08/Dez	2,24	3,54	2,89
16/Dez	3,23	5,16	5,00
22/Dez	1,67	4,69	5,38
29/Dez	3,32	5,89	5,18
05/Jan	2,14	4,50	3,90
12/Jan	0,40	3,77	1,04
20/Jan		2,09	1,09
26/Jan		1,66	0,33
03/Fev		0,49	0,44

	Segunda época		
	Média FE	Média CT	Média ST
16/Fev	0,04	0,04	0,04
01/Mar	0,07	0,15	0,15
15/Mar	0,54	1,34	0,78
29/Mar	1,34	3,73	2,84
12/Abr	2,10	3,56	3,34
26/Abr	1,40	3,43	3,47
10/Mai		4,53	3,21
24/Mai		2,63	0,97
07/Jun		1,37	0,42

APÊNDICE 7: Potenciais matriciais da água no solo, na profundidade de 30 cm, em função de dias após o transplante (DAT), nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE) em dois ciclos da cultura do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.



APÊNDICE 8: Coeficientes de extinção (k) expressos pela relação entre $\text{Ln}(1 - \varepsilon_{\text{int}})$ e o índice de área foliar (IAF), nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE), em dois ciclos da cultura do tomateiro, sendo ε_{int} a eficiência de interceptação da RFA. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.



APÊNDICE 9: Matéria seca (g m⁻²) de raízes, caules, folhas e frutos do tomateiro, nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE), em amostras coletadas durante as primeira e segunda épocas de cultivo do tomateiro. CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS, 1999/2000.

Primeira época (18/10/99 a 03/02/00)

		04/Nov	10/Nov	17/Nov	24/Nov	01/Dez	8/Dez	16/Dez	22/Dez	29/Dez	05/Jan	12/Jan	19/Jan	26/Jan	03/Fev
Raízes	CT	1,17	4,03	6,03	10,32	13,69	16,33	17,81	14,63	14,83	19,44	19,51	23,48	21,15	19,83
	ST	1,17	4,03	5,56	13,01	9,51	11,99	12,35	15,85	15,63	24,83	13,7	16,07	22,73	15,27
	FE	1,16	4,54	6,22	8,05	10,09	13,62	11,95	12,15	15,47	12,72	15,31	16,89		
Caule	CT	1,65	8,62	11,56	48,68	95,29	97,87	140,35	214,62	205,29	239,93	235,41	202,85	144,29	334,41
	ST	1,65	8,62	10,85	41,01	60,4	77,99	122,45	155,3	167,03	232,99	138,45	145,76	119,27	169,93
	FE	1,52	2,48	11,39	21,07	40,17	77,26	89,15	79,34	108,48	104,53	115,35	103,43		
Folhas	CT	7,28	19,34	58,55	145,27	248,26	187,35	246,27	324,86	332	350,03	310,55	283,95	209,57	433,78
	ST	7,28	19,34	50,08	132,31	139,55	170,85	240,75	198,11	279,13	306,48	229,11	239,28	209,17	264,61
	FE	7,07	19,98	48,99	65,67	96,72	147,06	175,91	164,49	226,77	176,51	210,01	183,17		
Frutos	CT				0,3	26,6	27,82	34,26	95,26	138,3	247,32	190,92	285,16	195,12	146,12
	ST				1,08	20,64	49,98	132,14	152,16	186,24	301,64	258,48	434,76	213,5	162,6
	FE				25,5	21,92	49,46	85,48	101,58	167,66	234,58	266,82	346,32		

Segunda época (15/02/00 a 07/06/00)

		01/Mar	15/Mar	29/Mar	12/Abr	26/Abr	10/Mai	24/Mai	07/Jun
Raízes	CT	0,68	5,55	15,45	8,33	20,37	14,6	14,55	12,27
	ST	0,71	4,18	10,89	11,13	9,2	14,59	9,8	11,53
	FE	0,47	3,8	9,13	10,82	12,18	8,84		
Caule	CT	1,4	14,59	58,97	89,8	124,82	134,41	104,62	122,36
	ST	1,38	13,9	63,75	102,06	129,73	92,63	85,74	105,23
	FE	0,51	10,29	36,39	57,5	102,97	102,95		
Folhas	CT	4,61	62,88	160,92	164,62	181,22	257,95	169,31	213,33
	ST	5,31	48,27	139,23	163,93	273,4	182,37	173,99	183,49
	FE	2,47	37,11	109,11	138,7	138,18	158,37		
Frutos	CT			1,56	44,39	97,37	232,65	205,28	194,83
	ST			7,05	51,92	121,27	180,61	218,06	218,22
	FE			6,73	25,38	90,01	138,85		

APÊNDICE 10: Taxa fotossintética ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$) medida em folhas superiores, intermediárias e inferiores do dossel de tomateiro, nos ambientes de estufa com tela (CT), estufa sem tela (ST) e externo à estufa (FE). CPVDF/FEPAGRO. Eldorado do Sul/RS. 1999/2000.

02 de dezembro de 1999							
Folhas intermediárias	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Planta 4	Planta 5	Média	Desvio Padrão
FE	22,2	19,3	23,4	18,7	19,2	20,6	2,1
CT	19,9	25,5	19,8	28,1	22,2	23,1	3,6
ST	16,3	28,2	24,8	20,7	25,4	23,1	4,6

22 de dezembro de 1999						
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Média	Desvio padrão	
FE						
Inferior	13,2	2,3	10,3	8,61	5,6	
Intermediária	20,6	28,7	23,8	24,4	4,1	
Superior	23,5	21,3	21,7	22,2	1,2	
CT						
Inferior	16,3	12,0	16,6	15,0	2,6	
Intermediária	24,8	14,1	23,7	20,9	5,9	
Superior	27,8	25,1	30,9	27,9	2,9	
ST						
Inferior	17,5	3,3	13,8	11,5	7,4	
Intermediária	24,3	28,6	22,7	25,2	3,1	
Superior	22,4	29,1	25,1	25,5	3,4	

16 de março de 2000						
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Média	Desvio padrão	
FE						
Inferior	14,4	15,7	15,3	15,1	0,7	
Intermediária	25,5	24,1	26,8	25,5	1,4	
Superior	25,4	29,0	28,4	27,6	1,9	
CT						
Inferior	12,3	19,1	20,0	17,1	4,2	
Intermediária	26,2	20,8	23,8	23,6	2,7	
Superior	28,9	28,5	26,8	28,1	1,1	
ST						
Inferior	8,6	6,6	8,5	7,9	1,1	
Intermediária	29,6	27,6	26,0	27,7	1,8	
Superior	30,9	25,0	26,9	27,6	3,0	

27 de abril de 2000						
	Planta 1	Planta 2	Planta 3	Média	Desvio padrão	
FE						
Intermediária	15,1	20,3	15,1	16,8	3,0	
Superior	17,9	21,5	19,0	19,5	1,8	
CT						
Inferior	16,4	12,0	13,9	14,1	2,2	
Intermediária	23,0	23,6	17,7	21,4	3,3	
Superior	30,0	21,8	20,7	24,2	5,1	
ST						
Inferior	12,7	9,7	16,6	13,0	3,4	
Intermediária	11,6	10,8	20,9	14,4	5,6	
Superior	14,5	13,7	14,7	14,3	0,5	