

**FRANCISCA ZENAIDE DE LIMA**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR E DA ÁGUA  
PELA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill), SUBMETIDA A  
ESTRESSE DE LUZ E ÁGUA**

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

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS - BRASIL  
2002**

**FRANCISCA ZENAIDE DE LIMA**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DO USO DA RADIAÇÃO SOLAR E DA ÁGUA  
PELA CULTURA DA SOJA (*Glycine max* (L.) Merrill), SUBMETIDA A  
ESTRESSE DE LUZ E ÁGUA**

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

**APROVADA em 25 de fevereiro de 2002.**

---

**Prof. Dr. Aristides Ribeiro**

---

**Prof. Dr. Gilberto Chohaku Sedyama  
(Conselheiro)**

---

**Prof. Dr. José Maria Nogueira da Costa**

---

**Prof. Dr. Pedro Castro Neto**

---

**Prof. Dr. Luiz Cláudio Costa  
(Orientador)**

**Ao meu esposo José Dermeval Saraiva Lopes.**

**Ao meu filho Eduardo Teles de Lima Lopes.**

**Ao meu pai Raimundo Teles de Lima.**

**À minha mãe Maria Rosalina de Lima.**

## AGRADECIMENTO

A autora agradece, em especial, ao Professor Luiz Cláudio Costa, pela orientação e, sobre tudo, pela compreensão dispensada em todos os momentos que se fizeram necessários.

Aos Professores Conselheiros, Everardo Chartuni Mantovani, Gilberto C. Sedyama e Mauro Aparecido Martinez, pela colaboração neste trabalho e pelos ensinamentos nas disciplinas cursadas ao longo do curso.

Aos Professores Fernando Pinheiro Reis e Paulo Cecon, do Departamento de Estatística da UFV, pelos esclarecimentos de dúvidas e sugestões.

Ao Professor Laércio Zambolim, do Departamento de Fitopatologia da UFV, por disponibilizar a balança de precisão utilizada no primeiro experimento.

Ao Professor José Alberto Gomide, do Departamento de Zoologia da UFV, por disponibilizar o medidor de área foliar.

Ao Professor Júlio César L. Neves, pela sugestão quanto à correção do solo.

Ao meu esposo José Dermeval Saraiva Lopes, pela ajuda em vários momentos durante a condução do experimento.

À minha colega Sandra Parreiras, por disponibilizar a balança de precisão do Laboratório de Tratamento de Água do Departamento de

Engenharia Agrícola (DEA) da UFV, utilizada no segundo experimento.

Ao meu colega Carlos Rodrigues Pereira, por compartilhar os trabalhos de campo durante a montagem e condução dos experimentos.

Aos meus colegas de curso Roberto, Marcus Metri, Paulo Sérgio, Vera, Silvana, Ricardo e Camboim, pela amizade e ajuda.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Departamento de Engenharia Agrícola, pela oportunidade a mim oferecida para a realização do Programa de Pós-graduação.

Ao povo brasileiro, que, por meio do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), fez a concessão da bolsa de doutorado.

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

## BIOGRAFIA

FRANCISCA ZENAIDE DE LIMA, filha de Raimundo Teles de Lima e Maria Rosalina de Lima, nasceu no dia 21 de junho de 1961, em Pí IX, no Estado do Piauí.

Em setembro de 1987, conclui o Curso de Bacharel em Meteorologia pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

No período de 1988 a 1990, participou dos cursos de especialização **“Aproveitamento em Recursos Hídricos”**, na Universidade Federal de Alagoas (UFAL); e **“Meteorologia Tropical”**, na Universidade Federal do Pará (UFPA), em convênio com a Organização Mundial de Meteorologia.

Em 1991, foi bolsista de aperfeiçoamento na Universidade Federal de Alagoas (UFAL), realizando pesquisa na área de Climatologia.

Em maio de 1992, ingressou no Curso de Mestrado em Meteorologia Agrícola, na área de Modelagem da Radiação Solar, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo-o em 1995.

Em março de 1996, ingressou no Curso de Doutorado em Engenharia Agrícola, na área de Irrigação e Drenagem, da Universidade Federal de Viçosa (UFV), concluindo em fevereiro de 2002.

## CONTEÚDO

	<b>Página</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>x</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>xii</b>
<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Estrutura da tese.....</b>	<b>5</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>6</b>
<b>2.1. A irradiância solar e as plantas.....</b>	<b>6</b>
<b>2.2. A água e as plantas.....</b>	<b>17</b>
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1. Material vegetal .....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.1. Origem e histórico da soja.....</b>	<b>22</b>
<b>3.1.2. Descrição da planta de soja.....</b>	<b>23</b>
<b>3.1.3. Estádios de desenvolvimento da soja.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2. Condições de plantio.....</b>	<b>26</b>
<b>3.3. Tratamentos e delineamento experimental.....</b>	<b>27</b>
<b>3.4. Sistema e manejo de irrigação.....</b>	<b>28</b>
<b>3.5. Condições meteorológicas.....</b>	<b>29</b>
<b>3.5.1. Irradiância solar global (R<sub>g</sub>).....</b>	<b>29</b>
<b>3.5.2. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA).....</b>	<b>31</b>
<b>3.5.3. Fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja (f).....</b>	<b>32</b>

3.5.4. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) pela soja.....	32
3.6. Graus-dia. ....	33
3.7. Saldo de radiação (Rn).....	33
3.8. Crescimento da cultura.....	35
3.9. Eficiência de uso da radiação (EUR).....	36
3.10. Eficiência de uso da água (EUA).....	36
3.11. Análise estatística dos dados.....	36
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO REFERENTES AO EXPERIMENTO REALIZADO NO ANO AGRÍCOLA 1997/98.....</b>	<b>37</b>
4.1. Características das condições meteorológicas durante o ano agrícola 1997/98.....	37
4.1.1. Variação da irradiância solar global (Rg) e saldo de radiação (Rn).....	37
4.1.2. Variação da razão de insolação (n/N).....	39
4.1.3. Variação da temperatura do ar.....	40
4.1.4. Graus-dia acumulados no período.....	41
4.1.5. Variação da umidade relativa do ar.....	42
4.1.6. Variação da precipitação.....	43
4.1.7. Variação da evapotranspiração da soja.....	44
4.2. Estádios de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.....	46
4.3. Radiação fotossinteticamente ativa em cada período fenológico da soja.....	46
4.3.1. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA).....	47
4.3.2. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) pela soja.....	47
4.4. Eficiência de uso da radiação solar (EUR) pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98.....	51
4.5. Matéria seca total (MS) e partição de matéria seca para os órgãos das plantas de soja.....	54
4.6. Eficiência de uso da água (EUA) pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98.....	61
4.7. Produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.....	62
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO REFERENTES AO EXPERIMENTO REALIZADO NO ANO AGRÍCOLA 1998/99.....</b>	<b>64</b>
5.1. Características das condições meteorológicas durante o ano agrícola 1998/99.....	64

5.1.1. Variação da irradiância solar global (Rg) e saldo de radiação (Rn).....	64
5.1.2. Variação da razão de insolação (n/N).....	66
5.1.3. Variação da temperatura do ar.....	67
5.1.4. Graus-dia acumulados no período.....	69
5.1.5. Variação da umidade relativa do ar.....	69
5.1.6. Variação da precipitação.....	70
5.1.7. Variação da evapotranspiração da soja.....	72
5.2. Estádios de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.....	74
5.3. Radiação fotossinteticamente ativa em cada período fenológico da soja.....	75
5.3.1. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA).....	75
5.3.2. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) pela soja.....	76
5.4. Eficiência de uso da radiação solar (EUR) pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99.....	82
5.5. Análise do índice de área foliar (IAF) da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.....	86
5.6. Análise da área foliar específica (AFE) da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.....	88
5.7. Matéria seca total (MS) e partição de matéria seca para os órgãos das plantas de soja.....	89
5.8. Eficiência de uso da água (EUA) pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99.....	96
5.9. Produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.....	97
6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS DOIS EXPERIMENTOS.....	98
6.1. Condições meteorológicas.....	98
6.2. Estádios de desenvolvimento da soja .....	99
6.3. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.....	99
6.4. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.....	100
6.5. Eficiência de uso da radiação (EUR) nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.....	100
6.6. Matéria seca e partição de fotoassimilados.....	101
6.7. Eficiência de uso da água nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.....	101
6.8. Produtividade da soja nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.....	102
7. RESUMO E CONCLUSÕES.....	103
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
APÊNDICES	114

<b>APÊNDICE A.....</b>	<b>115</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>120</b>

## RESUMO

LIMA, Francisca Zenaide de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2002. **Análise da eficiência do uso da radiação solar e da água pela cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), submetida a estresse de luz e água.** Orientador: Luiz Cláudio Costa. Conselheiros: Everardo Chartuni Mantovani, Gilberto Chohaku Sedyama e Mauro Aparecido Martinez.

Este trabalho foi realizado com o objetivo de analisar os efeitos dos estresses de luz (sombreamento) e água nas eficiências de uso da radiação (EUR) e da água (EUA) pela cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) durante as suas fases de desenvolvimento. Para tal, foram conduzidos dois experimentos (anos agrícolas 1997/98 e 1998/99) na Área Experimental Vila Chaves, no Campus da Universidade Federal de Viçosa, localizada no Município de Viçosa, MG. Com as medições de radiação fotossinteticamente ativa, matéria seca produzida pela cultura, e a área foliar, foram analisados os efeitos dos estresses hídrico (durante as fases vegetativa e de florescimento) e de luz (durante a fase vegetativa), sob os mecanismos de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) pela soja e as suas EUR e EUA. As análises indicaram que a redução do nível de radiação (sombreamento), durante a fase vegetativa, nos dosséis das plantas de soja não causou modificações no seu

poder de interceptação (PI) da radiação fotossinteticamente ativa. No primeiro ano de cultivo da soja, o PI das plantas sombreadas foi de 55%, sendo o PI das plantas que se desenvolveram sob o fluxo normal de radiação de 52%. No segundo ano, a soja sombreada interceptou 31% e a não-sombreada, 35%. Foi observado que as plantas sob deficiência de luz tendem a expandir suas folhas mais rapidamente que as não-sombreadas, apresentando uma área foliar específica maior. Na fase seguinte após serem expostas ao nível normal de irradiância solar, mesmo exibindo menor área foliar, essas plantas conseguiram interceptar a radiação na mesma proporção das plantas que não passaram por estresse de luz na fase anterior. Esses mecanismos de adaptação ao estresse de luz permitiram à soja sombreada uma maior eficiência de uso da radiação (EUR), sendo nos dois experimentos, a EUR das plantas sombreadas superior em 16% a EUR das plantas não-sombreadas. A EUR da soja que recebeu estresse hídrico na fase vegetativa apresentou valores diferenciados de um experimento para outro, ou seja,  $0,75 \text{ g.MJ}^{-1}$  no ano agrícola 1997/98 e  $1,22 \text{ g.MJ}^{-1}$  no ano agrícola 1998/99, sendo, no primeiro experimento, a interceptação da radiação semelhante à das plantas sem estresse hídrico, e no segundo ano houve redução de 21%. O sombreamento da soja ocasionou considerável redução na EUA da soja, enquanto as plantas que receberam estresse hídrico apresentaram os maiores valores de EUA.

## ABSTRACT

LIMA, Francisca Zenaide de, D.S., Universidade Federal de Viçosa, February 2002.  
**Analysis of the efficiency in using the solar radiation and the water in the soybean crop (*Glycine max* (L.) Merrill) under light and water stress conditions .**  
Adviser: Luiz Cláudio Costa. Committee members: Everardo Chartuni Mantovani, Gilberto Chohaku Sedyama and Mauro Aparecido Martinez.

An study was carried out to analyze the effects of the water and light stresses (shading) and on the efficiencies of the use of radiation (EUR) and water (EUA) in soybean crop (*Glycine max* (L.) Merrill) during its development stages. So, two experiments were conducted (agricultural years 1997/98 and 1998/99) in the experimental area “Vila Chaves” at the campus of the Universidade Federal University de Viçosa, in Viçosa county, MG. Using the data obtained from measuring the photosynthetically active radiation, the dry matter produced by the crop and the leaf area, the analyses were performed for the effects from water stress (over the vegetative and flowering stages) and light stress (over the vegetative stage), under the interception mechanisms of the photosynthetically active radiation (RFA) by soybean and its EUR and EUA. The analyses indicated that the reduction of the radiation level (shading) in the soybean plant canopy during the vegetative stage did not cause modifications in their

capacity to intercept (PI) the photosynthetically active radiation. In the first year of soybean cropping, the PI of the shaded plants was 55%, while that of the plants developing under normal radiation flux was 52%. In the second year, the shaded soybean intercepted 31%, whereas those nonshaded ones intercepted 35%. It was observed that the plants under light deficiency tend to expanding their leaves more quickly than those nonshaded ones, as presenting a larger specific leaf area. At the following stage, after they were exposed to the normal level of solar radiance, even when exhibiting a smaller leaf area, these plants are able to intercept the solar radiation at the same proportion as the plants not submitted to light stress over the previous phase. Due to these mechanisms of adaptation to the light stress the shaded soybean reached a higher efficiency of radiation use (EUR), and in both experiments the EUR in shaded plants was 16% higher than that in nonshaded ones. In the soybean subjected to water stress in vegetative stage, the EUR values were different between both experiments, that is  $0.75 \text{ g.MJ}^{-1}$  in the agricultural year 1997/98 and  $1.22 \text{ g.MJ}^{-1}$  in the agricultural year 1998/99; in the first experiment, the radiation interception was similar to the one of the plants not subjected to water stress, while in the second year occurred a reduction of 21%. The shading of the soybean caused a high reduction in soybean EUA, while those plants subjected to water stress exhibited the highest EUA values.

## 1. INTRODUÇÃO

O crescente aumento da população mundial aponta para a necessidade de uma agricultura cada vez mais eficiente, indicando para a busca da adoção de novas técnicas e metodologias que proporcionem o aumento e a melhoria da qualidade da produção agrícola. Por outro lado, questões inerentes à conservação do meio ambiente e a escassez, cada vez mais acentuada, de alguns recursos naturais não permitem que, para atender à alta demanda de alimentos, simplesmente se expandam as terras ocupadas com plantios. Portanto, há necessidade de se fazer uso de novas técnicas e meios de produção agrícola compatíveis com o controle da expansão de áreas exploradas pela agricultura e com a não-degradação dos recursos naturais. Dessa forma, vários esforços vêm sendo realizados por pesquisadores de diversas áreas, na busca de caminhos para se alcançar o que se denominou como “agricultura sustentável”. De forma bem simples, a agricultura sustentável pode ser definida como a otimização da utilização dos recursos naturais, visando à maximização da produtividade das culturas..

No passado, os esforços para aumentar a produtividade das culturas eram direcionados apenas pelo suprimento de água e nutrientes minerais (KIMES et al., 1980). Posteriormente, com a introdução do conceito de manejo integrado das culturas, considerando aspectos de irrigação, pragas, doenças e solo, entre outros, registrou-se um substancial aumento da produtividade das culturas.

Atualmente, as pesquisas na linha da genética e da modelagem dos

mecanismos de crescimento das plantas são vistas como a solução de maior relevância para se obter o equilíbrio entre a demanda por alimentos e a produtividade das culturas (BUENO et al., 2001; BORÉM, 2001; PACHEPSKY et al., 1996). Porém, tanto o melhoramento genético das plantas quanto a modelagem dos seus mecanismos de crescimento necessitam de estudos precisos e específicos sobre as complexas interações entre as plantas e o meio no qual elas se desenvolvem, ou seja, sobre o sistema solo-planta-atmosfera (JOHNSON et al., 1995). Portanto, estudos das complexas interações entre o meio ambiente e os mecanismos de desenvolvimento e crescimento das plantas visam contribuir com o aumento da produção de alimentos, sem a necessidade da expansão das áreas de plantio.

A obtenção de informações sobre as interações entre o sistema solo-planta-clima e a identificação de como esses componentes interagem no metabolismo de crescimento e desenvolvimento das plantas representa um caminho seguro para se obter respostas que apontem para a implementação de técnicas que levem à prática da agricultura sustentável e à obtenção do aumento da produtividade das culturas (IMSANDE, 1992; JOHNSON et al., 1995; PACHEPSKY et al., 1996).

Os processos fisiológicos de crescimento e desenvolvimento das plantas determinam a produtividade das mesmas e estão sujeitos a fatores externos e internos. Os fatores externos consistem da influência do meio ambiente sobre o desenvolvimento das plantas, e os fatores internos relacionam-se à constituição genética destas e determinam, em primeira instância, o potencial máximo de produção da cultura.

A produtividade final de uma cultura pode ser definida como o produto de três fatores: a quantidade de recurso disponível por unidade de área e a eficiência de captura do recurso, ou seja, a relação entre a quantidade de recurso capturado por unidade de recurso disponível e a eficiência de utilização dos recursos, que representa a quantidade de matéria seca produzida por unidade de recurso capturado. Assim, análises da quantidade e das eficiências de captura e utilização dos recursos luz e água pelas culturas servem de apoio para a busca de se fornecer às plantas condições ambientais que possibilitem a otimização desses recursos e, assim, atinjam o seu potencial máximo de crescimento e, conseqüentemente, a máxima produtividade.

Numa comunidade vegetal, a presença de algum fator externo, que influencia a eficiência de uso dos recursos naturais disponíveis para as plantas, traduz-se na competição, entre as mesmas, por tais recursos (HARPER, 1997).

Uma das interações mais importante entre as culturas e o clima refere-se à relação entre as plantas e a irradiância solar incidente sobre o dossel (BUISSON e LEE, 1993). Dessa forma, a produtividade de uma cultura é diretamente dependente da sua eficiência em interceptar e utilizar a irradiância incidente.

No campo, a relação entre a irradiância interceptada e a matéria seca produzida pelas plantas, ou seja, a eficiência de uso da radiação (EUR) depende de diversos fatores, sendo um deles a densidade de plantas. Quanto maior o número de plantas por metro quadrado de solo, maior será a competição entre as plantas por luz. Portanto, a determinação do número de plantas que é capaz de explorar, de maneira eficiente e completa, determinada área de solo é algo bastante relevante na produtividade final das culturas (MUNDSTOCK, 1977).

Nos plantios, o grau de sombreamento mútuo entre plantas está diretamente relacionado com o número de plantas por unidade de área cultivada, ou seja, com a densidade de plantio. A utilização de diferentes densidades de plantios ocasiona competições intra-específicas de intensidades variáveis por energia radiante, nutrientes, água, gás carbônico e outros fatores envolvidos no crescimento e produção das plantas (RIZZARDI e SILVA, 1993).

Para fins experimentais, o efeito do sombreamento mútuo entre plantas pode ser estudado, variando-se a densidade de plantio ou fazendo-se uso de telas que permitem obter diferentes graus de sombreamento. A utilização do sombreamento artificial simula uma variação da densidade de plantio, ocasionando competição na parte aérea do vegetal, pela diminuição da irradiância interceptada, sem causar competição por outros fatores.

A água é outro recurso que influencia a produtividade das culturas. Sob estresse hídrico, ocorre o fechamento dos estômatos, reduzindo sua transpiração e, conseqüentemente, a assimilação de CO<sub>2</sub> é também reduzida (BOYER, 1970). A redução na umidade do solo afeta, também, a partição de fotoassimilados nas diferentes partes da planta (HALE e ORCUTT, 1987). Nas plantas de soja, quando o estresse hídrico ocorre durante o florescimento, verifica-se indução ao abortamento

de grande número das flores, reduzindo, assim, o número de vagens e, conseqüentemente, a produtividade final da cultura. O abortamento floral se dá pelo fato de o estresse estimular o maior desvio de fotoassimilados para as raízes (SIONIT e KRAMER, 1977)

Quando as plantas ficam submetidas a algum tipo de estresse, elas realizam alterações fisiológicas, morfológicas e anatômicas, que resultam em mudanças no seu metabolismo e, com isso, alcançam uma redução dos efeitos de tal deficiência na sua produtividade. Esse mecanismo de ajuste das plantas é conhecido como plasticidade vegetal (HUGHES, 1988).

A maioria dos estudos sobre a eficiência de uso dos recursos capturados pelas culturas foi realizada em locais de clima temperado e no período correspondente ao ciclo de vida da cultura (KINIRY et al., 1989; SIONIT e KRAMER, 1977; SINCLAIR et al., 1992; BELL et al., 1992; SINCLAIR e SHIRAIWA, 1993).

Na soja (*Glycine max* (L.) Merrill) cultivada em condições de clima tropical, mais recentemente foi constatado que essa cultura, quando submetida a estresse hídrico ao longo das diferentes fases de desenvolvimento, apresenta valores de eficiência de uso da radiação, em cada fase, diferenciados entre si, caracterizando-se por apresentar uma plasticidade em compensar a redução da radiação interceptada pelo dossel das plantas, por meio do aumento na eficiência de uso da radiação (EUR), quando o estresse hídrico não ocorre durante todo o ciclo, mas apenas no período vegetativo (COSTA et al., 1999).

Não se sabe, entretanto, se essa plasticidade, ou seja, a capacidade da cultura em compensar a irradiância fotossinteticamente ativa interceptada por meio de um aumento na EUR, foi realizada em conseqüência da redução da área foliar provocada pela deficiência de umidade do solo ou se as plantas sofreram modificações no seu metabolismo fisiológica que resultaram em maior EUR. Para se obter resposta a essa indagação, faz-se necessária a realização de estudos em que a cultura soja seja submetida a uma redução da irradiância solar incidente sobre o seu dossel e que não haja deficiência de umidade no solo.

Assim, o presente trabalho teve como objetivos:

1. Avaliar o efeito do sombreamento e do estresse hídrico na eficiência do uso da

irradiância solar e da água pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill).

2. Avaliar os efeitos da redução do nível da irradiância solar incidente e do estresse hídrico, na fase vegetativa, sobre os mecanismos de interceptação da cultura.
3. Avaliar os efeitos da redução do nível da irradiância solar incidente na fase vegetativa e do estresse hídrico nas fase vegetativa e de florescimento na produtividade final da soja.

### **1.1. Estrutura da tese**

Os resultados do presente trabalho é estruturado na seguinte seqüência:

**Item 4** – Resultados e discussão referentes ao experimento realizado no ano agrícola 1997/98.

**Item 5** – Resultados e discussão referentes ao experimento realizado no ano agrícola 1998/99.

**Item 6** – Análise comparativa entre os resultados dos dois experimentos.

**Item 7** – Resumo e conclusões do trabalho como um todo.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. A irradiância solar e as plantas

A irradiância solar é a principal fonte de energia para o ambiente, sendo um dos elementos meteorológicos que têm maior influência nos processos fisiológicos que regem o desenvolvimento e crescimento das plantas e, conseqüentemente, a sua produtividade (CURRY et al., 1975).

Da irradiância solar global que atinge a superfície de um dossel, a energia contida na faixa de 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$  do espectro da radiação solar, que corresponde à irradiância fotossinteticamente ativa (RFA), é utilizada diretamente pelas plantas. É a energia contida nessa faixa da irradiância solar que é empregada na realização dos processos de fotoconversão, fotooxidação e fotossíntese (OMETO, 1981), sendo esse último o processo no qual o  $\text{CO}_2$  capturado do meio ambiente é convertido em carboidrato. Esses processos são os responsáveis pela transformação de compostos inorgânicos em compostos orgânicos (altamente energéticos), alterações nas estruturas moleculares e a aceleração ou a inibição de algumas reações no metabolismo do vegetal. No espectro de absorção da luz pela clorofila existem dois picos, sendo um próximo dos 0,440  $\mu\text{m}$  (violeta e azul) e o outro dos 0,66  $\mu\text{m}$  (vermelho). Contudo, no caso do fitocromo, suas respostas se manifestam nos picos de absorção entre o vermelho e infravermelho próximo (0,66 a 0,74  $\mu\text{m}$ ) (BLISKA e HONÓRIO, 1996).

A radiação fotossinteticamente ativa que atinge o topo de um dossel não é

interceptada na sua totalidade pelo mesmo, e a fração interceptada depende da arquitetura e do índice de área foliar do seu dossel. Do total de energia absorvida pelo dossel, apenas 5% são convertidos, pela da fotossíntese, em carboidratos e o restante utilizada na transformação de calor pelos demais processos (TAIZ e ZEIGER, 1998).

Normalmente, as atividades metabólicas das plantas se dão de acordo com o desenvolvimento das folhas mais jovens, ou seja, o metabolismo vegetal é máximo quando as folhas alcançam sua máxima expansão e declina com o envelhecimento das folhas. Como as folhas nascem, expandem e senescem, suas características respiratórias e fotossintéticas também mudam. Essas mudanças alteram a eficiência com que a radiação solar é capturada e utilizada pelas plantas (COSTA et al., 1996).

A influência da irradiância solar nos processos fisiológicos das plantas é constatada pelo fato de a sua produção de matéria seca ser proporcional à fração acumulada da radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) pelo dossel da cultura. De tal forma, a relação entre a biomassa produzida durante o ciclo de vida de uma cultura e a quantidade de radiação acumulada ao longo desse ciclo informa o seu poder de conversão de energia em matéria seca. Assim, a análise da radiação solar interceptada ao longo do ciclo de vida de uma cultura é de fundamental importância na compreensão dos seus processos de desenvolvimento, crescimento e produtividade.

MONTEITH (1977), analisando essa relação entre o acúmulo de biomassa e a radiação interceptada por diferentes culturas, obteve um valor médio, que foi em torno da taxa de  $1,4 \text{ g.MJ}^{-1}$ , ou seja, para cada mega-Joule de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, ocorre a produção de 1,4 grama de biomassa estrutural. Os trabalhos seguintes confirmaram que a EUR de algumas culturas fica estável em torno desse valor encontrado por Monteith. Entretanto, outras pesquisas observaram a existência de diferenças importantes entre os valores da EUR de algumas espécies (SINCLAIR et al., 1992). A análise dos dados de vários estudos permitiram que KINIRY et al. (1989) fizessem uma síntese desses resultados, de forma que encontraram os seguintes valores médios de EUR de  $3,6 \text{ g.MJ}^{-1}$  para o milho (*Zea mays* (L.));  $3,2 \text{ g.MJ}^{-1}$  para sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e girassol (*Helianthus annuus* (L.));  $2,2 \text{ g.MJ}^{-1}$  para arroz (*Oryza sativa* (L.)); e  $2,9$

g.MJ<sup>-1</sup> para o trigo (*Triticum aestivum* (L.)).

A proporção de luz direta interceptada pelas folhas de um dossel é dependente da combinação entre o ângulo de inclinação das folhas com a sua orientação azimutal (ROSA e FORSETH, 1995). Estudos têm indicado que o ângulo ótimo de inclinação das folhas de um dossel é uma função direta da intensidade da radiação incidente nessas folhas (WARREN, 1960). As perdas na radiação interceptada por uma cultura, ou seja, a parcela da radiação incidente que sofre o processo de extinção, também são influenciadas pelas características e estrutura do dossel. Como as folhas absorvem radiação em diferentes faixas do espectro (0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ ), essas diferenças na absorvidade das folhas também são válidas para a sua capacidade de extinção da luz. Estudos indicam que, para um índice de área foliar igual a um, nas plantas com folhas eretas, 74%, em média, da radiação incidente atinge a base do dossel, enquanto nas plantas com folhas predominantemente horizontais esse valor é em torno de 50% (BROUGHAM, 1956).

Outros resultados indicam que, para a luz ser mais eficientemente absorvida pela cultura, o seu dossel deve apresentar um arranjo foliar, de forma que 50% de suas folhas se localizem-se na parte superior do mesmo e que apresentem um ângulo de inclinação variando entre 60 e 90<sup>0</sup>, em relação ao plano horizontal; 37% sejam distribuídas na parte intermediária do dossel e apresentem-se com inclinação em torno de 37%; e 13% corresponda às folhas inferiores, nas quais devem posicionar-se com uma variação angular entre 0 e 30<sup>0</sup> (NICHIPROVICH, 1962).

A estrutura do dossel, a distribuição espacial e o arranjo horizontal ou vertical das folhas determinam, portanto, a radiação interceptada pela cultura e, conseqüentemente, a sua eficiência no processo fotossintético (FORTIN e PIERCE, 1996; BLAD e BAKER, 1972). DE WIT (1965) e DUCAN et al. (1967) já postulavam que a fotossíntese de uma planta não depende somente da magnitude da radiação solar, mas também da estrutura, da sua geometria e da iluminação interna do seu dossel.

Como as folhas superiores do dossel são responsáveis por interceptarem a maior parte da radiação incidente, considera-se que essas folhas contribuam predominantemente para o processo fotossintético do dossel. Assim, um melhor arranjo das folhas do dossel resultaria numa melhor distribuição interna da radiação

(SAKAMOTO e SHAW, 1967; SHAW e WEBER, 1967). Dessa maneira, as folhas localizadas nas camadas mais inferiores do dossel seriam mais favorecidas com a penetração da radiação e, portanto, passariam a contribuir mais significativamente com a fotossíntese, ou seja, contribuiriam de forma mais ativa com o aumento da produtividade das plantas (JOHSTON et al., 1969).

Existem plantas cujas folhas se posicionam, em relação ao deslocamento do Sol, de acordo com a necessidade de luz. A função básica desse remanejamento do posicionamento das folhas de algumas plantas é regular a quantidade de irradiância solar incidente nas mesmas, o que é feito em função da sua necessidade momentânea por luz, de forma que elas maximizam ou minimizam a captura de luz, por meio de um mecanismo fisiológico que as permite permanecerem com suas folhas perpendicular ou paralelamente aos raios solares. O movimento das folhas é regido pela existência de um pigmento receptor, em que as plantas respondam a estímulos de luz. Essa resposta é decorrente tanto de um crescimento diferenciado, originado de uma iluminação desigual de tecidos novos, que nesse caso resulta numa curvatura ou, ainda, devido a respostas luminosas à mudanças diretas na turgidez, causando movimentos (BEGG e TORSSELL, 1974).

As plantas não respondem somente em relação à ausência ou presença de luz, mas também em relação à variação da intensidade luminosa. Por exemplo, plantas mantidas em sombreamento tendem a ser mais altas e ter área foliar maior, em relação ao peso, do que as plantas que crescem em plena luz do Sol. As repostas também podem ser observadas no nível subcelular. Os cloroplastos em forma de disco, de muitas plantas, orientam-se de modo que a sua seção mediana máxima esteja voltada para a luz, em baixa intensidade luminosa, permitindo máxima absorção de luz. Em intensidade de luz muito alta, eles se orientam de modo que a seção mediana mínima esteja em direção à luz, protegendo, desse modo, os pigmentos fotossintéticos de injúria (KENDRICK e FRANKLAND, 1981).

Esse mecanismo, conhecido como heliotropismo, é classificado em dois tipos: diaheliotropismo e paraleliotropismo (THANISAWANYANGKURA et al., 1997).

No diaheliotropismo, as folhas orientam-se perpendicularmente à direção do Sol, buscando a máxima incidência da radiação direta. No paraleliotropismo as

folhas orientam-se paralelamente na direção do Sol, buscando a mínima incidência da radiação direta. Assim, em dias claros, o paraleliotropismo pode reduzir em 20 a 30% a radiação total incidente (FORSETH e EHLERINGER, 1980) e estar comumente associado com estresse hídrico (DUBETZ, 1969; MEYER e WALKER, 1981). Porém, mesmo sem estresse hídrico, nos dias de alta intensidade de radiação, ao meio-dia, as plantas podem apresentar o paraleliotropismo (BERG e HSIAO, 1986; FU e EHLERINGER, 1989). O paraleliotropismo, na ausência de estresse hídrico, é regulado pela temperatura e umidade do ar (FU e EHLERINGER, 1989).

O fitocromo é o fotorreceptor envolvido nas respostas das plantas ao nível de luz e que se manifestam em forma de ajuste do seu crescimento. Ele funciona como um simples detector de luz e, também, menos diretamente, na medição da duração da luz. Experimentos conduzidos em ambiente controlado esclareceram que, ao contrário do que se esperava, o fitocromo não se localiza no cloroplasto e sim dentro ou perto da membrana plasmática (KENDRICK e FRANKLAND, 1981).

A mudança na orientação das folhas em resposta ao deslocamento do Sol ocorre em várias espécies de cultivares importantes. O impacto do sombreamento nas folhas de plantas do feijoeiro tem resposta por meio do movimento de suas folhas. Quando a luz direta foi bloqueada, as lâminas foliares dessas plantas assumiram posição horizontal por um período superior a 30 minutos e permaneceram nesse posicionamento, enquanto estavam sombreadas (FU e EHLERINGER, 1989).

Variações no posicionamento das folhas da soja (*Glycine max.* (L.) Merrill) têm sido registrado por vários autores (WOFFORD e ALLEN, 1982; OOSTERHUIS et al., 1985; MEYER e WALKER 1981; STEVENSON e SHAW, 1971).

ROSA e FORSETH (1995) examinaram o comportamento da inclinação e orientação das folhas de quatro cultivares de soja (Forrest (FOR), Cumberland (CMB), Essex (ESX) e CNS) em função do aumento da radiação ultravioleta (UV-B). Os quatro cultivares mostraram algum grau de diaheliotropismo pela manhã e à tarde e paraleliotropismo ao meio-dia. Os cultivares FOR e CMB apresentaram maior tolerância à radiação UV-B ao meio-dia, quando foi verificado que o fluxo de radiação incidente em suas folhas foi inferior ao incidente nas folhas dos cultivares ESX e CNS. Assim, a tolerância dos cultivares FOR e CMB ocorreu em função da sua maior eficiência no movimento paraleliotropismo.

SINCLAIR e HOIRE (1989) relataram, por meio de uma derivação teórica, que as diferenças da EUR entre espécies dependem da taxa de saturação da luz e da fotossíntese das folhas. Um dossel com folhas arranjadas, de forma a permitir a difusão da radiação até as camadas mais inferiores, pode contribuir, de forma significativa, com o aumento da atividade fotossintética do dossel e, conseqüentemente, com o aumento da produção. Em culturas que apresentam o dossel com distribuição vertical homogênea, as folhas da parte inferior do dossel recebem mais radiação difusa na faixa fotossinteticamente ativa.

Nos cálculos de SINCLAIR e HORIE (1989) foi incluída apenas a componente direta da radiação. Como a radiação difusa é mais uniformemente distribuída entre as folhas do que a componente direta, a sua inclusão, nos cálculos da EUR, resultará em valores diferentes daqueles obtidos considerando apenas a componente direta da radiação. Isso advém do fato de que a maior eficiência das folhas sombreadas em relação à das folhas sobre radiação direta, se traduz em um aumento na EUR do dossel.

SINCLAIR e SHIRAIWA (1993) realizaram estudos com soja (*Glycine max.* (L) Merrill), em Gainesville (Flórida) e em Shiaga (Japão), para examinar a influência da distribuição de oxigênio em folhas jovens e da fração da radiação solar difusa na eficiência de uso da radiação por essa cultura. A eficiência de uso da radiação pela soja semeada no Japão foi bem maior do que para a soja semeada na Flórida. Esses autores associaram essa diferença dos valores da EUR ao fato de a fração difusa incidente no Japão ter sido, também, bem maior em relação à da Flórida.

ALLEN et al. (1974), comparando a eficiência fotossintética dos dosséis sob diferentes frações da radiação difusa incidente, encontraram uma relação direta entre o aumento na eficiência fotossintética das plantas e o aumento na fração da componente difusa.

Experimentalmente, quando a EUR é obtida em condições de cobertura, no qual a componente da radiação difusa é grande, seus valores são maiores do que aqueles obtido em estudos em condições de campo aberto.

HAMMER e VANDERLIP (1989) realizaram estudos em condições casa de vegetação, com dois cultivares de sorgo (Atx623/RTx430 e RS610), submetidos às

temperaturas de 17 e 25 °C, com o objetivo de determinar os efeitos das interações entre cultivares e a temperatura na eficiência do uso da radiação. As análises dos resultados indicaram que a EUR no cultivar Atx623/RTx430 sob a temperatura de 25 °C foi de 4,89 e de 3,58 g.MJ<sup>-1</sup>, a 17 °C; e no cultivar RS610, a EUR foi de 3,81 e 3,90 nas respectivas temperaturas de 25 e 17 °C. SQUIRE et al. (1984) encontraram valores de EUR de 2,5 g MJ<sup>-1</sup> para o Capim tinga (*Pennisetum glaucum* (L.)). Em estudos com amendoim (*Arachis hypogaea* (L.)), também em casa de vegetação, valores de EUR de 1,8 g MJ<sup>-1</sup> foram determinados por ONG et al. (1987) e, de 2,1 g MJ<sup>-1</sup>, por BELL et al. (1992).

SINCLAIR et al. (1992) analisaram, de forma teórica, a influência da fração difusa da radiação solar na variação EUR da cultura soja (tipo C3) e do milho (tipo C4), considerando duas taxas de assimilação de CO<sub>2</sub> (2,4 mg CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup> e 1,0 mg CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>) para cada cultura. A eficiência de uso da radiação da soja e do milho mostrou-se sensível à inclusão da radiação solar difusa, especialmente quando essa fração da radiação difusa foi de 15 a 30% da radiação global incidente, tendo em vista que foi observado aumento de aproximadamente 0,35 g.MJ<sup>-1</sup>, em ambas as culturas. Esse aumento da EUR ocorreu em função da relativa contribuição das folhas sombreadas no acúmulo de biomassa do dossel, quando a fração da radiação difusa aumenta. O aumento na EUR, em função do aumento da fração difusa, em ambas as culturas, foi menor quando calculada para a menor taxa de assimilação de CO<sub>2</sub>, ou seja, 1,0 mg CO<sub>2</sub>.m<sup>-2</sup>.s<sup>-1</sup>.

Outro fator que influencia a eficiência do uso da radiação pelas plantas é a intensidade da luz ambiente, ou seja, o nível de sombreamento das plantas. Processos fisiológicos, como as taxas fotossintética, respiratória, fotorespiratória e transpiratória, também são influenciados pelo grau de sombreamento. Por sua vez, esses processos básicos influenciam o acúmulo de matéria seca, que depende do índice de área foliar, da duração de área foliar, da taxa assimilatória e da taxa de crescimento relativo.

No campo, a competição entre as plantas por luz é proporcional à densidade de plantio, pois, quanto maior o número de plantas dispostas na área, maior será a quantidade de folhas com ausência de luz, ou seja, na presença de sombreamento. Dessa forma, em um dossel, as folhas sombreadas e as não-sombreadas apresentam

respostas diferentes quanto à sua taxa de fotossíntese. GREEN et al. (1995) observaram que em uma macieira, sob a mesma condição de luz incidente, as folhas não-sombreadas atingiram uma taxa fotossintética máxima de  $13,3 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ , quando a densidade de fluxo da PAR era em torno  $1.000 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ; enquanto nas folhas sombreadas esses valores se reduziram à metade, ou seja, a taxa máxima da fotossíntese foi em torno de  $6,6 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  e ocorreu com uma densidade de fluxo da PAR em torno de  $500 \mu\text{mol.m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ . Assim, o grau de sombreamento entre as plantas reflete diretamente a eficiência de uso da radiação (EUR) das mesmas.

De modo geral, as plantas que habitualmente se desenvolvem em nível satisfatório de radiação quando são impostas a regimes deficientes de luz, ou seja, quando se desenvolvem à sombra, apresentam aumento na área de suas folhas, sendo esse comportamento uma estratégia típica de algumas plantas, que procuram, com isso, manter a sua eficiência fotossintética (SMITH, 1982).

As adaptações apresentadas, quanto à intensidade e qualidade da radiação luminosa, pelas plantas aos baixos regimes de luz são obtidas mediante enriquecimento dos centros de reação do fotossistema II. Com essas adaptações ocorre aumento da absorção de luz e da transferência de energia em ambientes sombreados, em que a luz vermelha-distante é mais abundante (TAIZ e ZEIGER, 1998).

A ocorrência de uma rápida redução na radiação resulta em declínio rápido na fotossíntese, resultante de ajustes bioquímicos. Ao retornar os altos níveis de radiação solar e na ausência de limitações estomatais, a fotossíntese aumenta rapidamente. Existe relação direta entre a fotossíntese e a radiação, porém a partir de dado momento, à medida que a radiação cresce, a fotossíntese estabiliza-se em face da limitação na transferência de elétrons e fixação de  $\text{CO}_2$ . Quando as culturas ficam expostas à radiação por longos períodos, a temperatura foliar do dossel aumenta, causando possíveis danos à planta. Assim, algumas espécies de plantas, quando são expostas a momentos alternados de luz e sombra, desde que não estejam sob estresse hídrico, conseguem assimilar maiores quantidades de  $\text{CO}_2$  que em condições contínua de luz (CLEMENTE e MARLER, 1996).

Devido à maior eficiência de conversão da energia solar, observada em plantas sombreadas, conclui-se que estas apresentam mecanismos de auto-

ajustamento ao meio ambiente, sobretudo pela redução da taxa respiratória (SHIRAIWA e HASHIRAWA, 1991)

O efeito do sombreamento em leguminosas (forrageiras) ocasiona modificações nas características morfológicas das plantas. Entre essas modificações, observa-se acréscimo na área foliar específica (AFE), ou seja, ocorre aumento da área das folhas em detrimento de uma diminuição do peso da matéria seca das mesmas. O aumento da AFE, com o sombreamento, indica um mecanismo de adaptação, no qual, para cada unidade de peso de matéria seca particionada para as folhas, ocorre grande aumento da lâmina foliar, obtendo, assim, uma expansão do aparato de captura de incidência da luz. Assim, essas mudanças morfológicas nas folhas em relação ao seu peso seco representam diminuição da espessura das mesmas (COOPER, 1966).

COOPER (1967) estudou as mudanças morfológicas, o número de estômatos por unidade de área foliar e o conteúdo de clorofila nas folhas de leguminosas, cultivadas sob redução da intensidade radiação incidente. Neste estudo, foi verificado aumento na área foliar específica (AFE) das plantas sombreadas, embora esse aumento não tenha apresentado diferenças significativas entre as duas espécies. As plantas sombreadas sofreram redução do número de estômatos por unidade de área e, continham, significativamente, mais clorofila, por unidade de peso das folhas do que por unidade de área.

FARNHAM et al. (1986) realizaram estudos para determinar os efeitos de dois níveis de radiação fotossinteticamente ativa, 650 e 230  $\mu\text{mol foton m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ , no crescimento do amendoim e na fixação do  $\text{N}_2$ . As características morfológicas das plantas foram diferentes em cada nível de radiação. As plantas que se desenvolveram expostas ao menor fluxo de radiação apresentaram caules mais longos em relação às plantas que se desenvolveram sob o maior nível de radiação. As plantas expostas ao maior nível de radiação caracterizaram-se por serem de menor estatura, serem mais compactas e desenvolveram mais folhagem, e as flores foram mais abundantes e a produção de grãos, mais elevada, em relação às plantas com menor fluxo de radiação. A fixação de nitrogênio foi mais favorecida nas plantas sob o maior nível de luz.

Estudos da radiação fotossinteticamente ativa interceptada e do número de sementes por plantas de milho cultivado sob diferentes densidades de plantio e em

condições de sombreamento durante a fase florescimento indicaram que a EUR foi 28% maior nas plantas sombreadas, e a variação da densidade de plantio afetou tanto o número de sementes por plantas quanto a capacidade de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (ANDRADE et al., 1993).

Na análise do sombreamento artificial sobre a produção e em algumas características do feijoeiro-comum (*Phaseolus vulgaris* (L.)), ficou evidenciado que, apesar das características anatômicas e fisiológicas desta leguminosa, que é uma planta C3, ou seja, possui um mecanismo de adaptação quando em condições de baixa luminosidade, fazendo com que as plantas absorvam a luz com maior eficiência, o sombreamento é um fator responsável pela redução da produtividade dessa leguminosa. O feijoeiro tem seu crescimento vegetativo e reprodutivo reprimido por baixos níveis de luz devido, principalmente, à diminuição da taxa fotossintética das plantas (MAGALHÃES et al., 1991).

Em estudos dos efeitos do sombreamento na cultura do feijoeiro, constatou-se que a redução do nível de radiação proporcionou aumento de 98% na resistência mesofílica à difusão do CO<sub>2</sub> e de 48% na resistência estomática à difusão do CO<sub>2</sub>. Esses aumentos nas resistências difusivas foram observadas paralelamente com decréscimo na fotossíntese e na respiração. Entretanto, o decréscimo fotossintético foi, consideravelmente, mais acentuado do que o da transpiração. Portanto, o aumento na resistência mesofílica ou intracelular tem efeito mais significativo nas trocas de CO<sub>2</sub> do que no da resistência estomática. O aumento de 48% na resistência estomática foi devido, principalmente, à diminuição da frequência estomática das folhas sombreadas e não da diminuição do tamanho dos estômatos, tendo em vista que esses apresentaram, tanto nas folhas sombreadas como nas não-sombreadas, o mesmo tamanho. Entretanto, as plantas não-sombreadas exibiram em suas folhas 64% mais estômatos do que as folhas não-sombreadas. O aumento na resistência mesofílica estar associado as mudanças enzimáticas e modificações na ultra-estrutura dos cloroplastos (CROOKSTON et al., 1975).

Observou-se tendência de as plantas de soja sombreadas apresentarem maiores valores de resistência difusiva que as plantas expostas à plena radiação solar (MELGES, 1983). Como as resistências ao CO<sub>2</sub> e ao vapor d'água entre a folha e a atmosfera dependem da densidade e frequência de abertura dos estômatos

(KANEMASU e TANNER, 1969; CIHA e BRUN, 1975), o aumento da resistência difusiva das plantas sombreadas de soja foi causada, principalmente, pelo decréscimo na densidade dos estômatos. Considerando que o número total e a diferenciação dos estômatos não são influenciados pela densidade de fluxo radiante (CIHA e BRUN, 1975), o decréscimo da densidade estomática foi causado pelo aumento da área de cada folha, quando as plantas foram submetidas a níveis de radiação solar decrescentes (MELGES, 1983).

Quando o sombreamento ocorre durante o período reprodutivo da soja, esta cultura apresenta redução no número de flores e vagens por unidade de plantas (JIANG e EGLI, 1993). Foi observado que o sombreamento artificial também ocasiona redução da matéria seca e da produção de sementes nas plantas de soja (TRANG e GIDDENS, 1980; SCHOU et al., 1978; WAHUA e MILLER, 1978).

Na cultura da soja, os níveis de radiação de 50 e 30% ocasionaram redução das sementes produzidas, em razão do acamamento e, principalmente, da redução do número de vagens, ocasionadas pelo menor número de posições para sua formação como pelo maior aborto de flores e vagens, em decorrência do menor suprimento de assimilados. Quando cultivada sob níveis de radiação de 70 e 100%, a soja não apresentou diferenças na produção de sementes entre esses dois níveis, provavelmente porque a menor temperatura observada na copa das plantas, no nível de 70% de radiação solar, retardando a senescência das plantas inteiras, possibilitou maior período de translocação de assimilados para esses órgãos (MELGES, 1983).

AUFHAMMER e GÖTZ-LEE (1991) avaliando os efeitos de 50% de redução da radiação na feijão fava (*Vicia faba* (L.)), observaram que esse nível de sombreamento reduziu o número de vagens e a produção de grãos da cultura.

KASIM et al. (1986) estudaram o regime de luz, modificado por duas porcentagens de sombreamento (34% e 56%), em plantios de feijão fava (*Vicia faba* (L.)). Observaram que esses dois percentuais de sombreamento não afetaram a duração da expansão foliar, mas o grau de sombreamento de 56% causou redução de 15% na área foliar das plantas. Esses autores observaram aumento da área foliar específica (AFE), nas plantas sombreadas.

## **2.2. A água e as plantas**

A água é outro recurso ambiental que atua como fator essencial para o crescimento das culturas, porque, juntamente com as proteínas e ácidos nucléicos, constitui a exigência básica dos seus órgãos. A água não só é um meio, mas uma parte inseparável do vegetal e exerce influência em diversos processos, como: assimilação de CO<sub>2</sub>, transpiração, expansão foliar e partição de fotoassimilados para os diversos órgãos da cultura. As dimensões das células e dos órgãos da planta, dependem do suprimento de água. A quantidade de água nas plantas não é constante e sofre variação durante o dia ou durante a noite, bem como nas diferentes fases de crescimento. Cerca de 5% da água total nas plantas é utilizada no metabolismo e o restante, no processo de transpiração (KUDREV, 1994).

A redução da quantidade de água disponível às plantas leva à aceleração da respiração, ao aumento da atividade das enzimas hidrolíticas e à redução da intensidade da fotossíntese. No entanto, se a quantidade de água é adequada, o processo fotossintético cresce, e a planta segue seu crescimento normal (KUDREV, 1994).

Em condições normais, as plantas perdem água para o ambiente através do processo de transpiração e, dessa maneira, elas são preservadas das elevadas temperaturas em suas folhas. As flutuações diurnas e noturnas na quantidade de água são acompanhadas com as respectivas alterações na intensidade da transpiração. Existe relação direta entre a umidade do solo e a evapotranspiração das culturas. Assim, quando a umidade do solo se encontra próximo da capacidade de campo, a evapotranspiração é máxima e, à medida que a água disponível no solo para as plantas diminui, a evapotranspiração torna-se menor (GHEYI et al., 1994).

O crescimento das plantas é resultado de reações internas na organização estrutural e na atividade funcional, as quais são responsáveis pela crescente formação dos tecidos dos órgãos e da expansão e diferenciação celular. Um dos principais fatores que limitam o crescimento das plantas é a redução da disponibilidade de água no solo. O déficit de água no solo, inicialmente, provoca diminuição na expansão celular (BOYER, 1970) e em seguida, em consequência do déficit hídrico nas folhas, ocorre o fechamento dos estômatos (SLATYER, 1967) impedindo, simultaneamente, o transporte de CO<sub>2</sub> para o interior dos cloroplastos.

As alterações anatômicas e morfológicas se correlacionam com as fisiológicas. As folhas superiores diferem das inferiores por sua intensidade de transpiração e pelo potencial osmótico. Além das alterações anatômicas e morfológicas, as plantas resistem ao estresse hídrico através de mudanças em seu metabolismo. Essas alterações que ocorrem no metabolismo contribuem para modificar o potencial osmótico das células e aumentar a força de sucção; cobrir as folhas com uma camada protetora de substâncias e fechar os estômatos, reduzindo assim a transpiração e iniciar essas modificações nas proteínas e ácidos nucleicos, em função de que a perda de água não possa levar a morte da planta (KUDREV, 1994).

A manutenção de uma fotossíntese prolongada devido à influência do estresse hídrico é característica das espécies que são altamente resistentes à seca. Com exceção das espécies que são altamente resistentes à seca, as demais utilizam grande quantidade de água para assimilar grande quantidade de CO<sub>2</sub>. Na assimilação de 1 mol de CO<sub>2</sub>, as plantas do tipo C<sub>4</sub>, transpiram 438 a 582 mol de água e as plantas do tipo C<sub>3</sub>, 628 a 1.638 mol de água (Gaastra, 1959, citado por KUDREV, 1994). A plasticidade em que as plantas moderam a perda de água e ao mesmo tempo absorvem a quantidade de CO<sub>2</sub> que necessitam para a fotossíntese pode ser quantificada pela razão entre o total de água transpirada e a quantidade de CO<sub>2</sub> assimilado pela fotossíntese, que é denominada razão de transpiração.

O estresse hídrico exerce influência na fotossíntese das plantas do tipo C<sub>4</sub> e C<sub>3</sub>. O efeito dele na fotossíntese se manifesta quando o potencial de água é reduzido de -0,1 para -0,4 MPa. Em alguns casos de mesófilos, a fotossíntese decresce o potencial de água de -0,5 para -0,8 MPa. Há, porém, plantas que continuam a fotossíntese mesmo após uma considerável redução de seu potencial hídrico. O sorgo pode fotossintetizar-se com 25% de redução de água, quando o potencial hídrico das folhas chega a -1,15 MPa (Blead et al., 1973, citados por KUDREC, 1994 ). Na soja, o valor de -1,0 MPa de potencial d'água nas folhas representa um estado crítico, a partir do qual se inicia o fechamento dos estômatos e, portanto, em seguida ocorre diminuição do processo fotossintético (COX e JOLIFF, 1987).

Independentemente das alterações na fotossíntese, um controle sobre a quantidade de água evapotranspirada é de muita importância para a preservação da atividade funcional da planta.

Um dos fatores mais importantes para a regulação do regime de água da planta é o movimento dos estômatos, isto é, sua abertura e fechamento. O movimento dos estômatos é rápido quando o intervalo entre a abertura e o fechamento é de 2,5 a 5 minutos e lento quando esse intervalo é de 15 a 20 minutos. Admite-se que as flutuações rápidas estão relacionadas com a concentração de CO<sub>2</sub> e, as baixas, com o conteúdo de água. Os estômatos abertos possuem um centésimo de resistência de difusão, com relação ao vapor de água do que com relação à cutícula celular (KUDREV, 1994). Com as condições ambientais (demanda atmosférica) invariáveis, mas com a umidade do solo diminuindo, o potencial de água das folhas também diminui, quando, então, inicia-se o fechamento dos estômatos (SLATYER, 1967).

Os movimentos dos estômatos são influenciados por uma série de condições ambientais e pelo estado das células, como a intensidade da luz, o controle de água nas folhas, a umidade do ar, a temperatura das folhas e a concentração de CO<sub>2</sub>. De todos esse fatores, o conteúdo de água nas folhas é considerado o mais importante de todos. Durante o dia, quando a oferta de água nas folhas é normal, os estômatos estão abertos e, havendo déficit de água, estão fechados. Os estômatos, porém, não se fecham até que o déficit hídrico tenha alcançado determinado limite, que varia segundo as espécies. Na soja, por exemplo, esse limite está no potencial de água de – 0,7 até –0,9 MPa (KUDREV, 1994).

O limite da transpiração nas condições de estresse hídrico é atingido por certas alterações anatômicas e morfológicas (aumento da espessura da cutícula, aumento da camada de cera e do cabelo, queda de folhas, etc.), mas principalmente pelo fechamento dos estômatos. Os movimentos dos estômatos regulam a transpiração e fotossíntese. Os estômatos que aparecem na superfície das folhas e, em algumas espécies, nas hastes são as principais aberturas pelas quais ocorre a troca de gases entre a atmosfera e a planta. O dióxido de carbono entra pelas folhas através dessas aberturas, enquanto o vapor de água sai. O dióxido de carbono entra na planta e mantém a fotossíntese, enquanto a água sai e resfria as folhas, protegendo-as contra o aquecimento (KUDREV, 1994).

Segundo GHEYI (1994) o déficit hídrico é caracterizado como aquele período durante o qual a absorção de água pelas raízes das plantas é inferior à sua transpiração. O estresse hídrico também é entendido como o período em que o

potencial hídrico e a turgidez nas células das folhas da planta são reduzidos, de forma que interferem, diretamente, no funcionamento do organismo vegetal, ressaltando-se que esse potencial, que caracteriza o estresse hídrico, varia em cada espécie de vegetal e com o estágio de desenvolvimento da planta (KRAMER, 1983).

As plantas podem experimentar três condições de estresse hídrico, quais sejam: suave, moderado e severo (HSIAO, 1973). Quando a redução do potencial hídrico nas folhas da planta se dá numa escala de décimos de MPa e o conteúdo relativo de água se reduz de apenas 8% a 10% e estresse hídrico é classificado como suave, quando a redução do potencial hídrico das folhas fica compreendido no intervalo de -1,2 a -1,5 MPa e a redução do conteúdo relativo de água entre 10% e 20%, o estresse hídrico é classificado como moderado; e por fim, o estresse é classificado como severo quando a redução no potencial hídrico das folhas da planta é superior a -1,5 MPa e a redução do conteúdo relativo de água é superior a 20%. Uma vez que cada espécie tem seu grau de tolerância ao estresse hídrico, ou seja, cada espécie responde de forma diferenciada, esses limites não podem ser aplicados de forma generalizada (SILVA, 1999).

Embora o fechamento dos estômatos só ocorra mediante o estresse hídrico com potencial hídrico das folhas em torno de 0,8 MPa, o estresse suave, embora seja equivalente a apenas décimos de MPa, pode levar à interrupção da expansão foliar (HALE e ORCUTT, 1987).

O estresse hídrico moderado causa alteração da relação fonte/dreno, afetando, indiretamente, a translocação de fotoassimilados. Com a expansão celular reduzida, ocorre diminuição da fonte (folhas) e, conseqüentemente, dos fotoassimilados disponíveis para a translocação em direção aos drenos. Isso resulta em uma diminuição da competição entre as folhas e os frutos por fotoassimilados, sendo o dreno prejudicado pela menor disponibilidade desses, ou seja, pela diminuição na taxa fotossintética (HALE e ORCUTT, 1987).

A cultura da soja tem se mostrado uma espécie de notável capacidade à adaptação aos déficits hídricos. Sendo, ao que tudo indica, o déficit de água no período reprodutivo o mais prejudicial à produtividade, no entanto, muitas observações têm evidenciado que, durante o período vegetativo, o déficit de água, não muito intenso, pouco afeta a produtividade desta cultura (REICHARDT, 1990).

A resistência da soja ao déficit hídrico varia ao longo do seu ciclo de vida (DOSS et al., 1974), sendo as variedades que apresentam maiores produtividades mais sensíveis à deficiência hídrica, enquanto as de menor potencial produtivo são mais tolerantes ao déficit hídrico (BUTTERY et al., 1993).

O estresse hídrico severo, durante o período vegetativo, ocasiona decréscimo na captura da radiação incidente e, como consequência, a eficiência de uso da radiação é afetada, pois, nesta condição, determinados órgãos da planta tornam-se drenos preferenciais para o desvio dos fotoassimilados (MUCHOW et al., 1986).

A quantidade de água armazenada no solo varia com a sua textura, o que leva as plantas a apresentarem diferentes comportamentos em relação aos mecanismos de adaptação (CARLESSO, 1995), e, conseqüentemente, a eficiência do uso da água (EUA) pelas plantas varia entre as espécies.

Uma das formas de se definir eficiência de uso da água por uma cultura é por meio da relação entre a matéria seca produzida por planta e a quantidade de água utilizada (KRAMER e BOYER, 1995). Essa relação permite o acompanhamento da EUA nos diferentes períodos de desenvolvimento.

PEREIRA (1998) estudando o comportamento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com relação ao uso eficiente de água (EUA) nas diferentes fases fenológicas, verificou a ocorrência de variações do EUA ao longo do ciclo da cultura, tanto na presença ou não de estresse hídrico e ressaltou que, quando estressada, a cultura exigiu menos água por grama de matéria seca produzida, ou seja, a apresentou tendência de maior EUA quando submetida ao estresse hídrico.

O estresse hídrico leva a soja a apresentar redução no índice de área foliar e no acúmulo de matéria seca total e provoca alterações morfológicas nas plantas (PEREIRA, 1998). Em consequência dessas alterações, cuja magnitude depende da fase de desenvolvimento da soja, pode haver diferentes efeitos nos mecanismos de interceptação e utilização da irradiância solar (CONFALONE, 1998).

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Para alcançar os objetivos desejados, foram conduzidos dois experimentos nos períodos de dezembro de 1997 a abril de 1998 e de dezembro de 1998 a abril de 1999. Ambos os experimentos foram realizados no Campo Experimental Vila Chaves, pertencente à Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, Minas Gerais, Brasil. As coordenadas geográficas do local são: latitude de 20° 45' S, longitude de 42° 51' W e altitude de 650 metros.

#### **3.1. Material vegetal**

Foi cultivada a variedade Capinópolis (UVF -16) da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), a qual apresenta um ciclo precoce e crescimento determinado, com produtividade de grãos satisfatória.

A soja pertence à família Leguminosae que inclui, aproximadamente, 650 gêneros e 18.000 espécies. É constituída de três subfamílias, Mimosoideae, Caesalpinoideae e Faboideae (COSTA, 1996).

##### **3.1.1. Origem e histórico da soja**

A soja, cujo nome científico é *Glycine max* (L.) Merrill, tem a origem e a história do seu cultivo desconhecida, mas suspeita-se de que ela vem do leste da

Ásia, provavelmente da China. Hoje, ela é plantada na América, Europa e África.

No Brasil, a cultura da soja tem-se adaptado a várias e diferentes regiões agrícolas, do norte ao sul do país. Embora a soja tenha sido introduzida na Bahia, foi no Rio Grande do Sul que a produção foi iniciada em escala comercial (COSTA, 1996)

Quanto ao clima, os elementos luz, umidade e temperatura exercem grande influência na sua produtividade (SAKIYAMA et al., 1990). Em regiões brasileiras onde normalmente as condições de temperatura e umidade do solo são favoráveis, a irradiância e a duração do fotoperíodo podem ser fatores limitantes na produção de soja (FARIAS et al., 1997; CÂMARA, 1991).

Quanto ao tipo de solo, embora seja mais cultivada em latossolos e podzólicos, em geral se adapta bem em quase todos os tipos, exceto em solos arenosos muito profundos ou em solos muito rasos, com material rochoso próximo à superfície. Quando cultivada em solos convenientemente preparados, a emergência dos cotilédones e o bom desenvolvimento do sistema radicular são bem favorecidos (SAKIYAMA et al., 1990).

### **3.1.2. Descrição da planta de soja**

A soja é uma planta herbácea, anual, ereta, de crescimento morfológico diversificado e apresenta vagens e hastes pubescentes. A planta varia de 0,3 a 2,0 m de altura, podendo ser muito pouco ramificada, com ciclo de 80 a 200 dias aproximadamente, dependendo da variedade e das condições do meio ambiente onde se desenvolve (SEDIYAMA et al., 1996).

O sistema radicular da soja é bem superficial, com formato predominantemente axial fasciculado, com a ressalva de que cerca de 80% do seu peso se encontra na camada de 0-15 cm e mais de 90% se localiza na camada arável (0-30 cm). A raiz pivotante, ou seja, o ramo principal, quando em condições favoráveis, pode alcançar profundidades maiores de 1 m (RICHARDT, 1990).

O caule da soja inicia-se no eixo do embrião, presente na semente madura. É um órgão do tipo herbáceo, ereto, mais ou menos pubescente e, dependendo da variedade, pode ser um pouco ramificado. As ramificações do caule são muito

influenciadas por condições de ambiente como: comprimento do dia, espaçamento e fertilidade do solo (SEDIYAMA et al., 1996).

As folhas da soja, entre as variedades comerciais, são de três tipos: duas folhas cotiledonares, que são as primeiras a emergirem na germinação. Duas folhas de lâminas simples, que são as que surgem após as cotiledonares, são do tipo unifolioladas ou primordiais e apresentam formato essencialmente oval, os pecíolos medem de 1 a 3 cm de comprimento e ocupam posições opostas no primeiro nó acima dos cotilédones. Por fim, as folhas trifolioladas, que são características da soja e estão dispostas alternadamente. Os folíolos dessas folhas têm margens inteiras, variam de formato e possuem comprimento de 4 a 20 cm e largura de 3 a 10 cm (SEDIYAMA et al., 1996).

As flores da soja possuem perianto e órgãos sexuais na mesma flor. Seu comprimento varia entre 6 e 7 mm. A cor das flores da soja varia com a variedade, em que a maioria das variedades apresenta flores brancas ou roxas (SEDIYAMA et al., 1996).

O fruto da soja é tipo vagem, sendo achatado, pubescente, amarelo-palha, cinzento, amarelo-bruno ou preto. A coloração da vagem depende da presença de coroteno ou xantofila e da presença ou ausência de pigmentos autociânicos. Podem ocorrer de duas a mais de 20 vagens por inflorescência e mais de 400 por planta. As vagens apresentam de uma a quatro sementes, sendo normalmente duas ou três. O comprimento da vagem varia entre 2 e 7 cm em alguns cultivares (SEDIYAMA et al., 1996).

A semente da soja tem uma forma que varia de quase esférica a mais ou menos ovalada. O peso de 100 sementes de soja varia entre 10 e 20 gramas (SEDIYAMA et al., 1996).

### **3.1.3. Estádios de desenvolvimento da soja**

A emergência é caracterizada pelo aparecimento dos cotilédones acima da superfície do solo. O nó cotiledonar corresponde ao primeiro nó que surge na plântula. Imediatamente acima do nó cotiledonar, encontra-se o nó das folhas primárias, o qual é o primeiro nó a ser contado na caracterização dos estádios de

desenvolvimento. Todas as folhas que surgem nos nós acima desse, apresentam folhas trifolioladas dispostas de forma alternada em torno do caule. Somente os nós do caule devem ser considerados na identificação dos estádios de desenvolvimento.

Os Quadros 1 e 2 ilustram o sistema de numeração e estádios de desenvolvimento nas fases vegetativa e reprodutiva da planta de soja, respectivamente, segundo a definição original de FEHR e CAVONESS (1977) e com as adaptações sugeridas por COSTA e MARCHEZAN (1982).

Quadro 1 – Descrição dos estádios da fase vegetativa

<b>Estádios</b>	<b>Subestádios</b>	<b>Descrição</b>
VE	Emergência	Cotilédone acima da superfície do solo
VC	Cotiledonar	Folhas primárias com as margens não mais se tocando
V1	Primeiro nó	Folhas primárias desenvolvidas
V2	Segundo nó	Folha trifoliolada desenvolvida no nó acima das folhas primárias
V3	Terceiro nó	3 nós do caule com folhas desenvolvidas começando com o nó das folhas primárias
Vn	“n” nó	“n” número de folhas desenvolvidas começando com o nó das folhas primárias

Fonte: cultura da soja: COSTA (1996).

Quadro 2 – Descrição dos estádios do período reprodutivo da soja

<b>Estádios</b>	<b>Subestádios</b>	<b>Descrição</b>
R1	Início do florescimento	Uma flor aberta em qualquer nó do caule
R2	Florescimento completo	Uma flor aberta em um dos dois últimos nós do caule com folha desenvolvida
R3	Início da formação de legumes	Flores nos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida
R4	Formação de legumes	Um legume com 2 cm num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida
R5	Início do enchimento de grãos	Grãos com 3 mm num legume dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida
R6	Máximo volume de grãos	Legumes contendo, ao menos, um grão verde que ocupa toda a sua cavidade, num dos quatro últimos nós do caule com folha desenvolvida
R7	Maturação fisiológica	Um legume normal, no caule, que atingiu a cor de legume maduro
R8	Maturação	Noventa e cinco por cento dos legumes atingiram a cor de legumes maduro

Fonte: cultura da soja: COSTA (1996)

### 3.2. Condições de plantio

O solo da estação experimental possui classificação do tipo Podzólico Amarelo-Vermelho Câmbico, fase terraço com topografia plana (COSTA,1973).

As análises química e física do solo foram realizadas a partir de amostras compostas, formadas de 25 amostras simples, coletadas na área experimental. As análises foram realizadas no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo e no Laboratório de Física do Solo da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Os resultados dessas análises indicaram um solo de textura argilosa com fertilidade média. Nos Quadros 3 e 4, mostram-se algumas de suas características químicas e físicas.

Quadro 3 – Análise química de amostras de solo retiradas da área onde foram realizados os experimentos

<b>Características Químicas</b>	<b>Resultados</b>	<b>Interpretação</b>
pH da água (1:2,5)	5,71	Acidez fraca
Fósforo: P (mg/dm <sup>3</sup> )	4,84	baixo
Potásio: K (mg/dm <sup>3</sup> )	69,75	médio
Cálcio: Ca <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,26	baixo
Magnésio: Mg <sup>2+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,60	baixo
Alumínio trocável: Al <sup>3+</sup> (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	0,1	baixo
Hidrogênio + alumínio: H+Al (cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup> )	2,76	médio

Análise realizada no Laboratório de Química e Fertilidade do Solo do Departamento de Solos da UFRV.

Quadro 4 – Análise granulométrica de amostras de solo retiradas da área onde foram realizados os experimentos

<b>Areia Grossa (%)</b>	<b>Areia Fina (%)</b>	<b>Silte (%)</b>	<b>Argila (%)</b>	<b>Textura do Solo</b>
14,00	5,50	25,75	54,75	Argilosa

Análise realizada no Laboratório de Física do Solo do Departamento de Solo da UFRV.

O preparo do solo foi realizado por meio de uma aração seguida de uma

gradagem. Antes da gradagem, fez-se a adubação com 30 kg/ha de K<sub>2</sub>O e 60 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Utilizou-se o cloreto de potássio (KCl) como fonte de K<sub>2</sub>O e o superfosfato simples (SS) como fonte de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

Nos dois anos agrícolas, a semeadura da soja foi realizada utilizando-se uma semeadora manual. No ano agrícola 1997/98, a semeadura foi feita em 12 de dezembro, com uma fertilização nitrogenada antes da semeadura e outra 15 dias após a data do plantio. A semeadura no ano agrícola 1998/99 foi realizada em 9 de dezembro, com inoculação de *Rhizobium japonicum* da semente.

As plantas foram cultivadas em uma área subdividida em parcelas com 6 m de largura e 12 m de comprimento. Cada parcela era constituída de 17 fileiras de plantas espaçadas entre si por 0,7 m e com densidade de plantio de 22 plantas.m<sup>-2</sup>.

### **3.3. Tratamentos e delineamento experimental**

Em cada experimento, a cultura da soja utilizada foi submetida aos seguintes tratamentos:

- 1** - Irrigado por todo o período (**IPTP**).
- 2** - Irrigado por todo o período e sombreado na fase vegetativa (**ISFV**).
- 3** – Não-irrigado na fase vegetativa (**NIFV**);
- 4** – Não-irrigado na fase de florescimento (**NIFF**).

No primeiro experimento (1997/98), cada tratamento teve três repetições, resultando em 12 parcelas. No segundo experimento (1998/99), os tratamentos receberam duas repetições, totalizando oito parcelas.

As parcelas correspondentes ao tratamento em que a cultura teve uma de suas fases submetida ao estresse hídrico (fase vegetativa e fase de florescimento) receberam cobertura de plástico polietileno transparente com altura de 2,50 m de pé direito, para que o estresse desejado não fosse interrompido pela água diretamente das chuvas. As parcelas com os demais tratamentos (IPTP e ISFV) não foram cobertas com plástico.

O sombreamento foi aplicado às plantas que foram submetidas ao tratamento irrigado e sombreado na fase vegetativa (ISFV); foi obtido mediante a

utilização de telas plásticas (sombrit) pretas, com um nível de sombreamento em torno de 50%, montadas em suportes de madeira a 1,50 m de altura do solo.

No experimento 1997/98 as cobertura de plástico e sombrit foram colocadas em 29/12/1997 e 31/2/1997, respectivamente. No segundo experimento essas datas foram 23/12/1998 para a cobertura de plástico e 24/12/1998 para a cobertura com tela. A distribuição dos tratamentos nas parcelas foi realizada por meio de sorteio.

As unidades experimentais (parcelas), em ambos os experimento, foram dispostas num delineamento em blocos casualizados com parcelas subdivididas, em que os tratamentos principais foram representados pelas deficiências hídricas e de radiação nas diferentes fases de desenvolvimento da cultura, e as datas de amostragens, com as repetições, constituíram os tratamentos secundários.

### **3.4. Sistema e manejo da irrigação**

A irrigação foi realizada por meio de um sistema de microaspersão, constituído de mangueiras flexíveis (Santeno Irrigações do Nordeste S.A.). Os emissores das mangueiras eram constituídos por pequenos orifícios espaçados de 0,15 m. O sistema de irrigação funcionou com uma vazão de 0,08 L/min e pressão de serviço de 2 mca.

A cada dia, o sistema de irrigação aplicou uma lâmina de água equivalente à evapotranspiração diária da cultura, considerando-se uma eficiência de aplicação de 90%. O manejo da irrigação foi realizado, considerando-se a chuva ocorrida entre duas irrigações sucessivas, de forma a completar a demanda hídrica da soja.

A evapotranspiração da soja ( $ET_c$ ), em escala diária, foi calculada a partir da evaporação do tanque classe A, corrigida por um valor de  $K_t$  igual a 0,75, obtido segundo indicação da Food and Agriculture Organization - FAO (DOORENBOS e KASSAM, 1979). Esse resultado foi, então, multiplicado pelo coeficiente da cultura ( $K_c$ ), tendo sido utilizado os valores recomendados pela FAO (DOORENBOS e KASSAM, 1979).

### **3.5. Condições meteorológicas**

### 3.5.1. Irradiância solar global diária ( $R_g$ )

A irradiância solar global, em termos diários, foi obtida por meio da equação proposta por de ÅNGSTRÖM (1924) e modificada por PRÈSCOTT (1940). Esse é um modelo clássico que relaciona linearmente a razão entre a irradiância solar diária ( $R_g$ ) incidente em uma superfície horizontal e a irradiância no topo da atmosfera ( $R_0$ ), com a razão de insolação ( $n/N$ ).

A equação de ÅNGSTRÖM e PRÈSCOTT (1940) é a seguinte:

$$\frac{R_g}{R_0} = a + b \left( \frac{n}{N} \right) \quad (01)$$

em que

$R_g$  = irradiância solar global diária sobre uma superfície horizontal, ao nível do solo, em  $\text{MJ.m}^{-2}$ ;

$R_0$  = irradiância solar diária sobre uma superfície horizontal, no topo da atmosfera, em  $\text{MJ.m}^{-2}$ ;

$n$  = duração do brilho solar diário, h; e

$N$  = duração astronômica do dia, em h.

A quantidade de irradiância solar sobre uma superfície horizontal, no topo da atmosfera ( $R_0$ ), foi determinada como

$$R_0 = \left( \frac{\bar{D}}{D} \right)^2 [H \text{sen}(\Phi) \text{sen}(\delta) + \cos(\Phi) \cos(\delta) \text{sen}(H)] \quad (02)$$

em que

$\Phi$  = latitude local, em graus;

$d$  = ângulo de declinação do Sol, em graus, e

$H$  = ângulo horário do Sol, em radianos.

O termo  $\left(\frac{\bar{D}}{D}\right)^2$  é uma relação entre a distância média Terra-Sol ( $\bar{D}$ ) e a distância real que a Terra se encontra do Sol ( $D$ ) em determinado dia do ano. Esse termo foi calculado pela expressão desenvolvida por Spencer (IQBAL, 1983), isto é:

$$\left(\frac{\bar{D}}{D}\right)^2 = 1,000110 + 0,03422 \cos X + 0,001280 \sin X + 0,000919 \cos 2X + 0,000077 \sin 2X \quad (03)$$

Em que o termo  $X$  é dado em radianos e foi obtido pela seguinte expressão:

$$X = \left[ 2\pi \left( \frac{DJ - 1}{365} \right) \right] \quad (04)$$

Nessa equação, a variável  $DJ$  corresponde ao número do dia do ano em questão. De acordo com o calendário Juliano,  $DJ$  varia de 1 a 365, para o período de 1 de janeiro a 31 de dezembro.

Desprezando-se os efeitos da refração atmosférica, a duração astronômica do dia ( $N$ ) foi determinada pela seguinte expressão:

$$N = \frac{2H}{15} \quad (05)$$

e utilizando-se a equação a seguir, determina-se o ângulo horário do Sol ( $H$ ), em graus:

$$\cos H = -\operatorname{tg}\Phi \operatorname{tg}d \quad (06)$$

A declinação do Sol ( $d$ ), em graus, para qualquer dia do ano, pode ser determinada pela equação proposta por COOPER (1969), a qual é expressa na seguinte forma:

$$d = 23,45 \operatorname{sen} \left[ \frac{360}{365} (284 + DJ) \right] \quad (07)$$

Na equação 01, os parâmetros **a** e **b** são coeficientes empíricos, que são determinados especificamente para cada localidade, por meio da análise de regressão linear. Neste trabalho, utilizaram-se valores mensais dos coeficientes **a** e **b**, determinados por ALVES et al. (1981), os quais estão apresentados no Quadro 5.

Quadro 5 – Valores dos coeficientes **a** e **b**, calculados por ALVES et al. (1981), do modelo Ångström e Prèscott para Viçosa, referentes aos meses correspondentes ao ciclo de vida da soja

<b>Coefficientes</b>	<b>Dezembro</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>
<b>a</b>	0,236	0,233	0,256	0,275	0,235
<b>b</b>	0,334	0,363	0,361	0,321	0,373

### 3.5.2. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA)

Do total da irradiância solar global incidente ( $R_g$ ) em um dossel, a parte compreendida na faixa do espectro da radiação de ondas curtas, com comprimento de ondas entre 0,4 a 0,7  $\mu\text{m}$ , ou seja, a radiação fotossinteticamente ativa (RFA), é utilizada nos processos fotossintéticos pelas plantas (ALADOS et al., 1996; ALADOS e ALADOS-ARBLEDAS, 1990). Neste trabalho, a radiação fotossinteticamente ativa diária incidente sobre as plantas foi considerada como sendo 50% dos valores de irradiância global (SPITTERS et al., 1986; SPITTERS, 1986), ou seja:

$$RFA = 0,5 \times R_g \quad (08)$$

em que

RFA = radiação fotossinteticamente ativa diária incidente,  $\text{MJ.m}^{-2}$ .

### 3.5.3. Fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja (f)

A fração da radiação fotossinteticamente ativa diária interceptada (f) pelas plantas foi determinada pela relação

$$f = [1 - (I_0 / I)] \times 100 \quad (09)$$

em que

f = fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja (adimensional);

$I_0$  = radiação fotossinteticamente ativa medida acima do dossel ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ); e

I = radiação fotossinteticamente ativa medida na base do dossel ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

As medidas de I e  $I_0$  (topo e base) foram tomadas em 10 plantas, em diferentes pontos de cada parcela, por ocasião das datas de amostragens, com um ceptômetro (Tipo Delta T – Devices). As medições de I e  $I_0$  foram realizadas em condições de nebulosidade o mais uniforme possível e em torno do meio-dia solar.

### 3.5.4. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) pela soja

A radiação fotossinteticamente ativa interceptada pelas plantas (RFAI) em determinado dia foi obtida, multiplicando-se o valor da radiação fotossinteticamente ativa diária incidente (RFA = 50% da  $R_g$ ), acumulada entre duas medições sucessivas, pela fração interceptada **f**, na data desejada, ou seja:

$$\text{RFAI} = \sum_{t_1}^{t_2} \text{RFA} \times f \quad (10)$$

### 3.6. Graus-dia

Os graus-dia que correspondem a quantidade de unidades térmicas, acima da sua temperatura base ( $T_b$ ), que a cultura necessita acumular para atingir determinado estágio de desenvolvimento.

De acordo com HUNDAL (1997), os graus-dia são determinados pela seguinte equação:

$$GD = T_{Med} - T_b \quad (11)$$

Em que  $T_{Med}$  é a temperatura média diária, que corresponde a media aritmética entre as temperaturas diárias máxima e mínimas, ou seja:

$$T_x = \frac{(T_{Max} + T_{Min})}{2} \quad (12)$$

em que

GD = graus-dia acumulados pela planta,  $^{\circ}\text{C} \cdot \text{d}^{-1}$ ;

$T_{Max}$  = temperatura máxima ocorrida durante o dia,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{Min}$  = temperatura mínima ocorrida durante o dia,  $^{\circ}\text{C}$ ; e

$T_b$  = temperatura-base da soja,  $^{\circ}\text{C}$ , que, para a soja é de  $10^{\circ}\text{C}$ .

### 3.7. Saldo de radiação (Rn)

O saldo da irradiância solar (Rn) foi estimado pela soma entre do balanço de ondas curtas e do balanço de ondas longas, ou seja:

$$Rn = BOC + BOL \quad (13)$$

sendo

BOC = balanço diário de ondas curtas, em  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ ; e

BOL = balanço diário de ondas longas, em  $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2}$ .

O balanço diário de ondas curtas foi obtido pela equação:

$$BOC = R_g \times (1 - \alpha) \quad (14)$$

em que

$\alpha$  = albedo da soja.

Utilizou-se o valor de 25% para o albedo da soja (BLAD e BAKER, 1972).

O Balanço de ondas longas foi estimado pela equação proposta por BRUNT (1932), que é a seguinte:

$$BOL = 4,8989 \times 10^{-9} T^4 \times (0,09 \times e^{0,5} - 0,56) \times (0,1 + 0,9 \cdot n/N) \quad (15)$$

em que

e = pressão de vapor, mmHg, e

T = temperatura média diária, K.

O valor da pressão de vapor foi obtido pela seguinte equação:

$$e = (UR \times e_s)/100 \quad (16)$$

em que

UR = umidade relativa diária do ar, em %; e

$e_s$  = pressão de vapor de saturação, em mmHg.

A pressão de vapor de saturação ( $e_s$ ) foi calculada pela equação proposta por TETENS (1930), expressa como se segue:

$$e_s = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{7,5 T}{237,3 + T}\right)} \quad (17)$$

A precipitação foi medida no local dos experimentos, em um pluviômetro tipo Ville de Paris. Os demais dados meteorológicos utilizados nos cálculos da irradiância solar global ( $R_n$ ), a evapotranspiração da cultura, os graus-dia e saldo de radiação foram obtidos da Estação Climatológica Principal pertencente ao Departamento Nacional de Meteorologia (DNMET), localizada no Campus da UFV, distante mais ou menos 1.400 m do campo experimental.

### **3.8. Crescimento da cultura**

Para monitorar o crescimento da cultura, foram coletadas 10 plantas por parcela, plantas de dois em dois dias, nos 30 primeiros DAP e a partir do trigésimo primeiro dia a amostragem das plantas foi realizada de 7 em 7 dias. Em cada data de amostragem, foi realizada a medição e da área foliar da cultura.

A extração das plantas do solo foi feita mediante a abertura de uma trincheira, de forma que as raízes não fossem danificadas. Após a retirada das plantas, as raízes eram lavadas e, em seguida, os diversos órgãos de cada planta eram separados e acondicionados em sacolas de papel pardo devidamente identificadas com a data, o órgão (folha, cotilédone, caule, raiz, flor, vagem, grãos) e a repetição do tratamento a que pertenciam. Imediatamente após o acondicionamento e identificação das partes das plantas, estas eram levadas à estufa com ventilação forçada, onde permaneciam por 72 horas à uma temperatura de 75 °C . Após a secagem, cada órgão de cada planta foi pesado em uma balança analítica de precisão, para se obter a matéria seca das plantas.

A área foliar da cultura foi obtida por um medidor eletrônico da LI-COR (Modelo LI – 3100, Inc. Lincoln, NE).

### **3.9. Eficiência de uso da radiação (EUR)**

A eficiência de uso da radiação (EUR) nos quatro tratamentos, nas diferentes fases fenológicas da cultura, foi determinada pela relação proposta por MONTEITH (1977), a qual relaciona a radiação interceptada pela cultura com o seu peso seco acumulado em determinado período. Assim, os valores da EUR em cada fase fenológica para cada tratamento foram estimados por meio de uma regressão linear entre a fitomassa e a RFA capturada e acumulada durante o período correspondente a cada fase de desenvolvimento da cultura.

### **3.10. Eficiência de uso da água (EUA)**

A eficiência de uso da água, nas diferentes fases de desenvolvimento, foi obtida pela razão entre a matéria seca que a cultura acumulou no período em questão e o volume de água aplicado durante esse período.

### **3.11. Análise estatística dos dados**

A análise estatística dos experimentos foi realizada, utilizando-se análise de variância e testes de médias, os quais foram feitos fazendo-se uso do programa estatístico SAEG, desenvolvido pelo Departamento de Informática da UFV (JÚNIOR, 2001).

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO REFERENTES AO EXPERIMENTO REALIZADO NO ANO AGRÍCOLA 1997/98**

### **4.1. Caracterização das condições meteorológicas durante o ano agrícola 1997/98**

#### **4.1.1. Variação da irradiância solar global (R<sub>g</sub>) e saldo de radiação (R<sub>n</sub>)**

A evolução da radiação solar global (R<sub>g</sub>) e do saldo de radiação (R<sub>n</sub>) durante o ciclo de desenvolvimento da soja plantada no período de dezembro de 1997 a abril de 1998 está ilustrada na Figura 1, estando apresentadas no Quadro 6 as suas respectivas médias correspondentes às fases vegetativa (FV), de florescimento (FF) e de enchimento de grãos (FEG).

Como pode ser observado na Figura 1, nesse período experimental a irradiância solar global apresentou valores entre 9,5 MJ.m<sup>-2</sup> e 24,3 MJ.m<sup>-2</sup>, sendo o valor médio do período de 16,7 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 6). Como a irradiância solar incidente em uma superfície varia em função da nebulosidade, essa faixa de oscilação da radiação solar global diária, nesse período, justifica-se pela alta nebulosidade da região na época das chuvas.

A irradiância média nas fases vegetativa, de florescimento e enchimento de grãos foi de 17,3; 15,9; e 16,2 MJ.m<sup>-2</sup>, respectivamente (Quadro 6).

Os valores da irradiância global observados abaixo da média das fases são justificados pela ocorrência de baixos valores de razão de insolação (n/N) (Figura 2),

observados no período em que a cultura permaneceu no campo, os quais, por sua vez, são resultados da alta nebulosidade.

Nos estádios de florescimento (FF) e de enchimento de grãos, os valores da irradiância solar global caracterizaram-se pelo fato de, na primeira metade dessas fases, terem sido superiores ao valor médio e, na metade seguinte, esses valores concentraram-se abaixo da média.

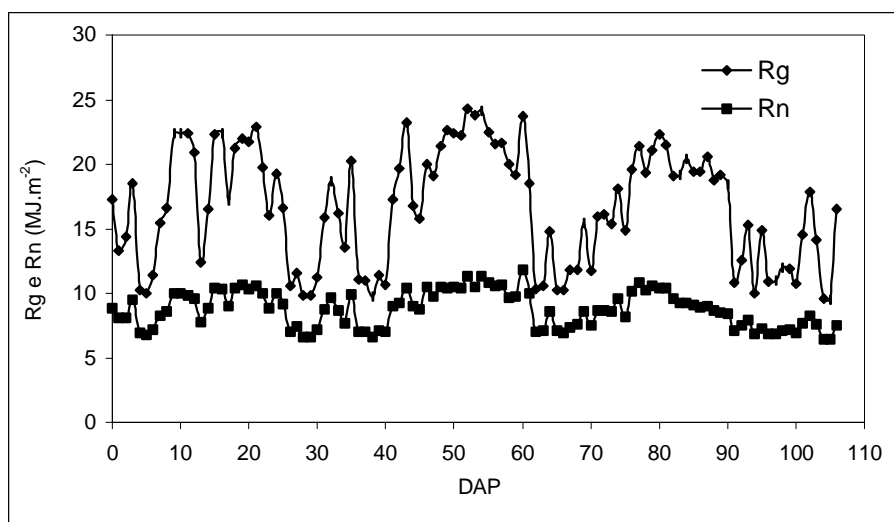


Figura 1 - Variação da irradiância solar global diária e saldo de radiação no período experimental 1997/98.

Quadro 6 - Médias da irradiância global (Rg) e do saldo de radiação (Rn) em cada fase de desenvolvimento da soja

Fase de Desenvolvimento	Rg (MJ.m <sup>2</sup> )	Rn (MJ.m <sup>2</sup> )
Fase vegetativa	17,3	9,0
Fase de florescimento	15,9	8,8
Fase de enchimento de grãos	16,2	8,4
Ciclo completo	16,7	8,8

O saldo de radiação desse período apresentou uma variação diária entre 6,4 e 11,3 MJ.m<sup>-2</sup> (Figura 1), sendo a média de todo o período igual a 8,8 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 6). Os valores de 9,0; 8,8; e 8,4 MJ.m<sup>-2</sup> representam as médias de cada fase, na sua ordem de ocorrência (Quadro 6).

#### 4.1.2. Variação da razão de insolação (n/N)

A evolução da razão de insolação (n/N) durante o ciclo de desenvolvimento da soja plantada no período de dezembro de 1997 a abril de 1998 está ilustrada na Figura 2, e no Quadro 7 são apresentadas as médias correspondentes às fases vegetativa (FV), de florescimento (FF) e de enchimento de grãos (FEG).

Pelo Quadro 7, têm-se que as fases vegetativa (FV), de florescimento (FF) e de enchimento de grãos (FEG) apresentaram os valores médios de razão de insolação de 0,5; 0,4; e 0,5, respectivamente.

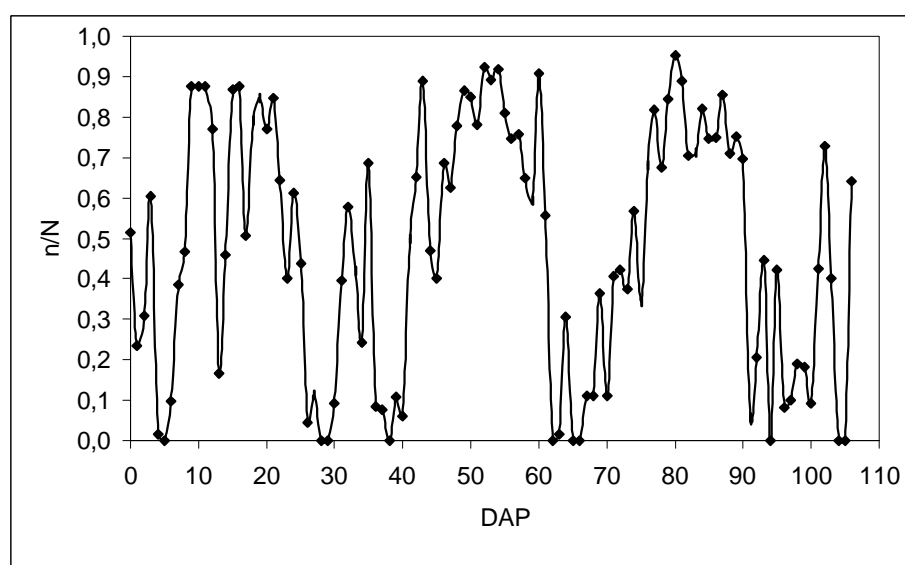


Figura 2 - Variação da razão de insolação (n/N) no período experimental 1997/98.

Quadro 7 - Médias da razão de insolação (n/N) em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de Desenvolvimento</b>	<b>Razão de Insolação (n/N)</b>
Fase vegetativa	0,5
Fase de florescimento	0,4
Fase de enchimento de grãos	0,5
Ciclo completo	0,5

### 4.1.3. Variação da temperatura do ar

Na Figura 3 está ilustrado o ciclo das temperaturas diárias máximas (Tmax), mínimas (Tmin) e médias (Tmed), registradas ao longo desse período experimental.

Durante esse período, os valores de temperatura máxima apresentam-se com uma temperatura máxima absoluta de 35,8 °C, sendo o menor valor registrado entre as temperaturas máximas de 21,8 °C (Figura 3). A média do período completo, entre os valores de temperaturas máximas diárias, foi de 30,1 °C (Quadro 8). Para cada fase fenológica, na seqüência cronológica de ocorrência, os valores médios foram de 30,3; 30,0; e 29,8 °C.

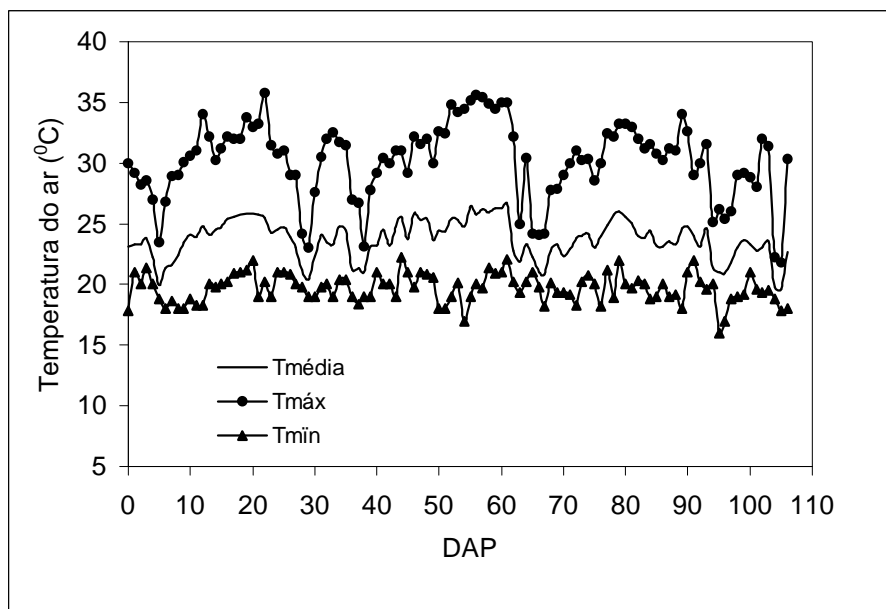


Figura 3 - Variação das temperaturas diárias máxima mínima e média no período experimental 1997/98.

A média das temperaturas mínimas foi de 19,7 °C (Quadro 8), com a ressalva de que, ao longo do período essas temperaturas variaram entre os valores de 16,0, registrados aos 95 DAP; e 22,2 °C, observados aos 44 DAP (Figura 3). As médias das temperaturas mínimas, em cada fase fenológica, foram de 19,7; 20,0; e 19,4 °C (Quadro 8).

Quadro 8 - Médias das temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fases de Desenvolvimento</b>	<b>Tmax (°C)</b>	<b>Tmin (°C)</b>	<b>Tmed (°C)</b>
Fase vegetativa	30,3	19,7	23,7
Fase florescimento	30,0	20,0	23,8
Fase de enchimento de grãos	29,8	19,4	23,5
Ciclo completo	30,1	19,7	23,6

A amplitude térmica apresentada no período, ou seja, a diferença entre o valor absoluto máximo (35,8 °C) e mínimo (16,0 °C), foi de 19,8 °C.

Com relação às temperaturas médias a amplitude observada no período foi de 6,8 °C, sendo o menor (19,6 °C) e o maior valor (26,7 °C) registrados, respectivamente, durante a fase de enchimento de grãos e de florescimento (Figura 3). Na ordem cronológica de ocorrência das fases fenológicas, as suas médias tiveram os seguintes valores: 23,7; 23,8; e 23,5 °C (Quadro 8).

#### 4.1.4. Graus-dia acumulados no período

No Quadro 9, apresentam-se os valores dos graus-dia acumulados em cada fase fenológica da cultura e ao longo do período experimental. Entre o início e final do ciclo da soja, foram acumulados 1.593 °C.dia<sup>-1</sup> (Quadro 9). Em cada fase de desenvolvimento, os graus-dia acumulados foram de 825,0; 315,0; e 453,0 °C.dia<sup>-1</sup> (Quadro 9).

Quadro 9 – Valores de graus-dia acumulados em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de desenvolvimento</b>	<b>Graus-dia Acumulados (°C.dia<sup>-1</sup>)</b>
Fase vegetativa	825
Fase de florescimento	315
Fase de enchimento de grãos	453
Ciclo completo	1.593

#### 4.1.5. Variação da umidade relativa do ar

A Figura 4 ilustra as variações diárias da umidade relativa do ar ao longo do período experimental, e no Quadro 10 são apresentadas as médias correspondentes a cada fase de desenvolvimento da soja.

Observou-se que o valor máximo de 94,7% foi registrado aos 105 DAP, ou seja, no final do ciclo da soja, e o valor mínimo de 62,7% foi verificado no final da fase vegetativa, mais precisamente aos 53 DAP (Figura 4). A média da umidade relativa de todo o período foi de 79,2% (Quadro 10). Os valores de umidade de 77,7; 79,5; e 81,5% representam as médias registradas durante as fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, respectivamente (Quadro 10).

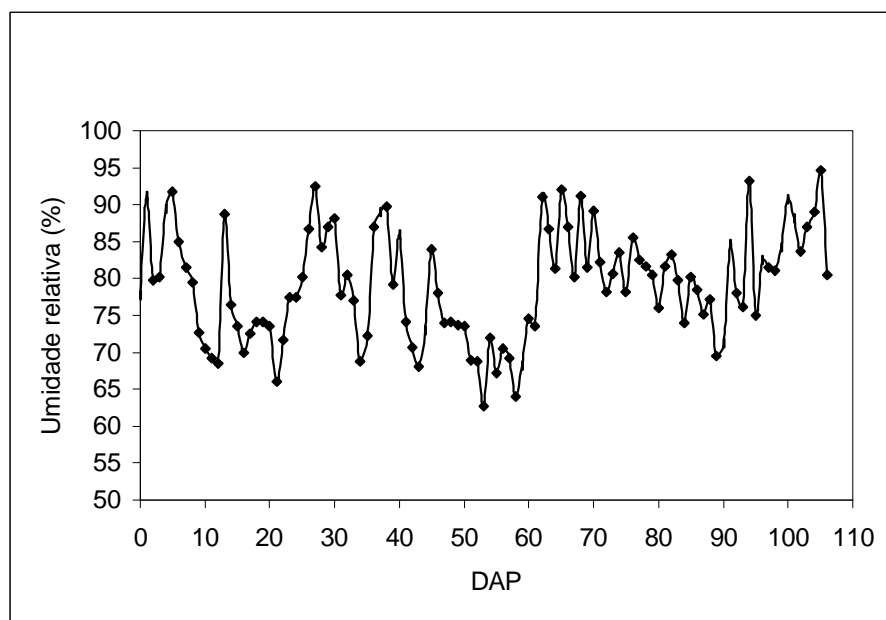


Figura 4 - Variação da umidade relativa do ar no período experimental 1997/98.

Quadro 10 - Valores médios da umidade relativa do ar em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de desenvolvimento</b>	<b>Umidade Relativa (%)</b>
Fase vegetativa	77,7
Fase de florescimento	79,5
Fase de enchimento de grãos	81,5
Ciclo completo	79,2

#### 4.1.6. Variação da precipitação

A Figura 5 ilustra as variações diárias da precipitação ao longo do período experimental, e no Quadro 11 são apresentadas as médias correspondentes a cada fase de desenvolvimento da soja.

A precipitação pluvial total no período experimental foi de 529,4 mm, sendo o valor diário médio durante o ciclo da soja de 4,9 mm.dia<sup>-1</sup> (Quadro 11).

De modo geral, a distribuição das precipitações pluvial ocorreu de forma irregular, com chuvas esparsas ao longo do ciclo da soja (Figura 5). Essa variabilidade, associada à ocorrência de veranicos com distintas durações, evidenciou que as águas das chuvas não atenderam à exigência de uma lâmina mínima de 5 mm diários de que a soja necessita (JENSEN, 1973; BERLATO e BERGAMASCHI, 1978).

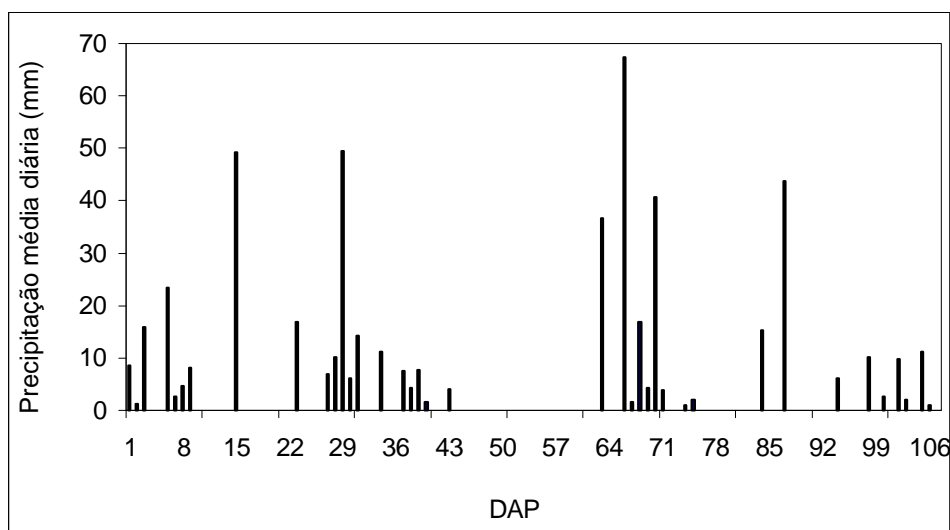


Figura 5 – Valores de precipitação pluvial diária no período experimental 1997/98.

Os valores médios de precipitação nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos foram, respectivamente, de 4,6; 8,3; e 3,3 mm (Quadro 11). Esses valores correspondem com as épocas de maior e menor exigências de água pela soja que apresenta baixo consumo de água no início do ciclo, apresentando, posteriormente, um aumento no seu consumo de água e voltando a diminuir quando

o final do ciclo se aproxima.

Quadro 11 - Valores médios de precipitação em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de Desenvolvimento</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
Fase vegetativa	4,6
Fase de florescimento	8,3
Fase de enchimento de grãos	3,3
Ciclo completo	4,9

A análise dos resultados indicou que, ao longo do período experimental, 65% dos dias foram caracterizados com total ausência de chuvas. O Quadro 12 informa a época de ocorrência e a duração desses veranicos.

A primeira ocorrência de veranico, com duração de dois dias, foi verificada imediatamente após o plantio da cultura, ou seja, dos três aos quatro DAP. O período mais longo com total ausência de chuvas ocorreu durante as fases vegetativa e de florescimento, o qual se prolongou por 15 dias (46 a 60 DAP).

Quadro 12 – Épocas e números de dias com total ausência de precipitação ao longo do período experimental

<b>Época (DAP)</b>	<b>N<sup>o</sup> de Dias</b>	<b>Época (DAP)</b>	<b>N<sup>o</sup> de Dias</b>
3 a 4	2	72	1
9 a 13	5	75 - 82	8
15 - 22	8	84 - 85	2
34 - 35	2	87 - 92	6
40	1	95 - 96	2
43 - 44	2	98 - 100	3
46 - 60	15	103	1

#### **4.1.7. Variação da evapotranspiração da soja**

A Figura 6 ilustra os valores da evapotranspiração diária ao longo do período experimental, e no Quadro 13 são apresentadas as médias correspondentes a cada período de desenvolvimento da soja.

A evapotranspiração total durante todo o ciclo da soja foi de 252,3 mm, sendo o consumo médio diário de 2,4 mm.

A fase vegetativa apresentou consumo total de 94,4 mm, com valor médio de 1,7 mm; na fase de florescimento, o consumo total foi de 62,2, com valor médio diário de 3,0 mm, e na fase de enchimento de grãos o consumo total de água foi de 95,7 mm, sendo o consumo médio diário de 3,1 mm.

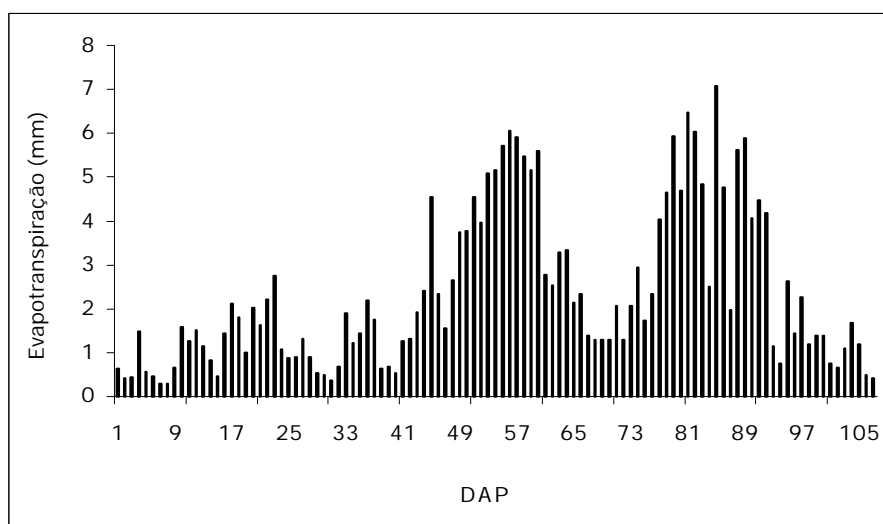


Figura 6 – Valores de evapotranspiração diária no período experimental 1997/98.

Quadro 13 - Valores médios de evapotranspiração em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de Desenvolvimento</b>	<b>Evapotranspiração (mm)</b>
Fase vegetativa	1,7
Fase de florescimento	3,0
Fase de enchimento de grãos	3,1
Ciclo completo	2,4

#### 4.2. Estádios de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

As datas do final e da duração de cada fase de desenvolvimento da soja são apresentadas no Quadro 14.

De acordo com o Quadro 14, em todos os tratamentos a emergência da soja se deu na mesma data, ou seja, no dia 17/12/1997.

A fase de enchimento de grãos da soja foi a que apresentou maior variação na sua duração, com a ressalva de que entre o tratamento IPTP e os ISFV e NIFF essa diferença foi de seis e três dias, respectivamente (Quadro 14). Quanto às fases vegetativa e de florescimento, as suas durações se diferenciaram no máximo de dois e três dias, respectivamente.

Quadro 14 - Datas do final e duração de cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

	Data	DAP	DAE	Evento	Duração (dias)
	12/12/97	-	-	Plantio	-
	17/12/97	5	-	Emergência	-
<b>IPTP</b>	03/02/98	53	48	Fase vegetativa	53
	24/02/98	74	69	Fase de florescimento	21
	28/03/98	106	101	Fase de enchimento de grãos	32
<b>NIFV</b>	03/02/98	53	48	Fase vegetativa	53
	23/02/98	73	68	Fase de florescimento	20
	25/03/98	104	99	Fase de enchimento de grãos	31
<b>NIFF</b>	02/02/98	52	47	Fase vegetativa	52
	25/02/98	75	70	Fase de florescimento	23
	25/03/98	103	98	Fase de enchimento de grãos	28
<b>ISFV</b>	06/02/98	56	51	Fase vegetativa	51
	26/02/98	76	71	Fase de florescimento	20
	23/03/98	101	96	Fase de enchimento de grãos	25

#### 4.3. Radiação fotossinteticamente ativa em cada período fenológico da soja

Neste item, serão apresentados e discutidos os resultados correspondentes aos valores da radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) e interceptada (RFAI), em cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no período de dezembro de 1997 a abril de 1998.

#### 4.3.1. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA)

Durante a fase vegetativa, a radiação fotossinteticamente ativa incidente nas plantas de soja que ficaram expostas ao nível de máxima radiação foi de  $426 \text{ MJ.m}^{-2}$ , enquanto na soja que foi sombreada incidiram  $197 \text{ MJ.m}^{-2}$ . Do exposto, conclui-se que o sombreamento nas plantas reduziu 54% a RFA incidente durante a fase vegetativa e, ao longo do ciclo da soja a redução efetiva foi de 35% (Quadro 15).

Durante a fase vegetativa, entre os tratamentos não-sombreados (IPTP, NIFV e NIFF) e durante as fases de florescimento e de enchimento de grãos em que o sombreamento foi retirado das plantas do ISFV, as diferenças nos valores da RFA incidente em cada tratamento se devem, exclusivamente, às diferenças na duração de suas fases (Quadro 14).

Quadro 15 - Valores de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) durante cada fase de desenvolvimento da soja, cultivada no ano agrícola 1997/98

Períodos	Radiação fotossinteticamente Ativa Incidente ( $\text{MJ.m}^{-2}$ )			
	IPTP	NIFV	NIFF	ISFV
FV <sup>1</sup>	426	426	414	197
FF <sup>2</sup>	172	163	191	155
EG <sup>3</sup>	251	254	233	207
CC <sup>4</sup>	856	843	839	559

<sup>1</sup> Fase vegetativa.

<sup>2</sup> Fase de florescimento.

<sup>3</sup> Fase de enchimento de grãos.

<sup>4</sup> Ciclo completo.

#### 4.3.2. Radiação fotossinteticamente interceptada (RFAI) pela soja

No Quadro 16, mostram-se os valores acumulados, em  $\text{MJ.m}^{-2}$  e a quantidade da radiação fotossinteticamente ativa que foi interceptada em cada fase de desenvolvimento da soja nos distintos tratamentos.

Na fase vegetativa, dos valores de RFAI apresentados no Quadro 16, pode-se determinar que as plantas de soja que foram sombreadas tiveram reduções no valor da RFAI de 52%, 51% e 47%, em comparação com os valores interceptados pelas plantas dos tratamentos IPTP, NIFV e NIFF, respectivamente. Entretanto,

quando são analisados os valores do Quadro 17, que representam a razão entre a RFAI e a RFA, observa-se que o poder de interceptação das plantas sombreadas foi superior ao das plantas dos demais tratamentos. Essa superioridade no poder de interceptação da radiação pelas plantas sob deficiência de luz se deve a mecanismos que permitem que as folhas sejam posicionadas de forma que a radiação incida diretamente na lâmina foliar, otimizando, assim, a captura de radiação.

Neste experimento, o estresse hídrico durante a fase vegetativa da soja não ocasionou modificações na quantidade de radiação interceptada (Quadro 16) e tampouco no seu poder de interceptação (Quadro 17), uma vez que não houve diferenças entre essas características das plantas do tratamento NIFV e as do IPTP. Esse resultado é oposto ao encontrado por COSTA et al. (1999), em que constaram que a soja, quando não-irrigada durante a fase vegetativa, a radiação interceptada é reduzida em torno de 45%. Portanto, os nossos valores indicam que o estresse hídrico aplicado a essas plantas não foi severo o suficiente a ponto de interferir nos mecanismos de interceptação da radiação incidente.

A soja que passou por um estresse hídrico durante a fase de florescimento (NIFF) interceptou 7% a mais que o IPTP. Nessa fase, exceto o tratamento em que as plantas foram sombreadas, os demais interceptaram menos radiação, em relação à fase anterior. Isso mostra que as plantas, quando sombreadas, adquirem precocidade em alcançar o momento de máxima interceptação, enquanto as plantas que não foram submetidas à sombra interceptam a radiação a uma menor taxa. Nessa fase, os tratamentos IPTP, NIFV, NIFF e ISFV interceptaram, respectivamente, 164, 153, 177 e 146 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 16).

Na fase de enchimento de grãos, a soja que foi submetida ao estresse hídrico na fase de florescimento, juntamente com a que recebeu estresse de radiação, no período vegetativo, apresentaram os menores valores de RFAI, sendo o NIFF com 221 MJ.m<sup>-2</sup> e o ISFV com 195 MJ.m<sup>-2</sup>. O IPTP e o NIFV interceptaram nesse período, respectivamente, 239 MJ.m<sup>-2</sup> e 242 MJ.m<sup>-2</sup>. Isso indica que os efeitos do estresse de água sofrido na fase vegetativa não repercutiram no período de enchimento de grão, enquanto o estresse de radiação ocasionou diminuição da RFA interceptada pela soja de 47 MJ.m<sup>-2</sup> (19%), em relação ao tratamento NIFV.

Quadro 16 - Valores de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) durante cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

Período	Radiação Fotossinteticamente Ativa Interceptada (RFAI) - MJ.m <sup>-2</sup>			
	IPTP	NIFV	NIFF	ISFV
FV	223	220	205	108
FF	164	153	177	146
FEG	239	242	221	195
CC	626	615	603	449

Considerando-se a quantidade total de radiação interceptada ao longo do ciclo de vida da soja, o efeito efetivo devido ao sombreamento na fase vegetativa foi de 28%, ao passo que o efeito do estresse hídrico na fase vegetativa e de florescimento foi inferior a 5%, em relação ao valor da radiação interceptada ao longo do ciclo de vida da soja, que foi irrigada por todo o período (IPTP).

Os valores apresentados no Quadro 17 evidenciam que as plantas de soja que se desenvolveram à sombra (ISFV) e as que não foram irrigadas durante a fase vegetativa (NIFV) não sofreram modificações na sua capacidade de interceptar a radiação, pois o seu poder de interceptação foi semelhante aos das plantas que não passaram por nenhum tipo de estresse durante essa fase (IPTP e NIFF).

Quadro 17 - Poder de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (PI) durante cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

Período	Poder de Interceptação da RFA (PI) - em %			
	IPTP	NIFV	NIFF	ISFV
FV	52	52	50	55
FF	95	94	93	94
FEG	95	95	95	94
CC	73	73	72	80

Na Figura 7, representa-se a variação dos percentuais de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa que incidiu no topo da soja sob os tratamentos aplicados.

Não foram encontradas diferenças significativas entre tratamentos ao nível

de 1% (Quadros 1A e 2A). Os tratamentos ISFV e NIFF atingiram o final da fase vegetativa interceptando 72 e 77%, respectivamente. A soja que foi irrigada por todo o período (IPTP) alcançou o término da fase vegetativa interceptando 87% e o NIFV, 84%.

Entre o término da fase vegetativa e o início da fase de florescimento, exceto no tratamento NIFF, foi verificada diminuição dos percentuais de interceptação da radiação incidente nos demais tratamentos. Todos os tratamentos chegaram ao final da fase de florescimento interceptando em torno de 95%, com uma faixa de variação de no mínimo 1% e no máximo 3%.

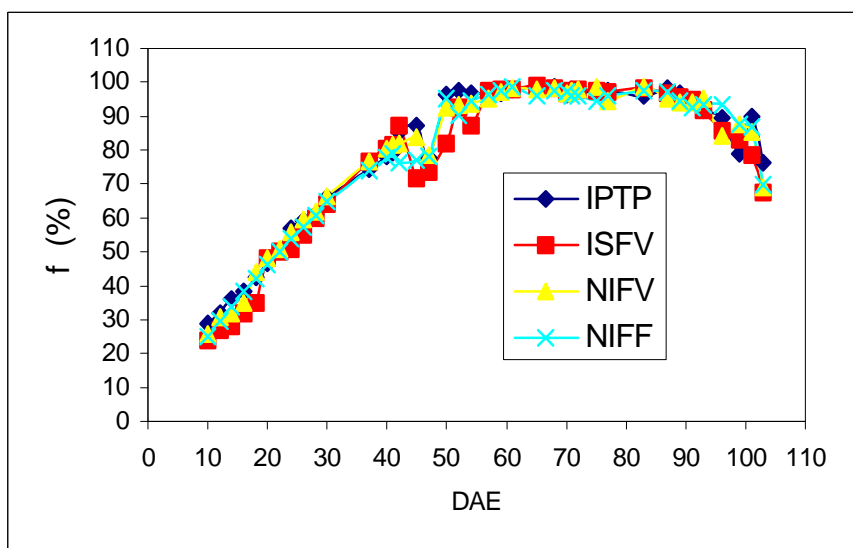


Figura 7 - Variação da fração da RFA que foi interceptada ao longo do ciclo de vida da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

A Figura 8 ilustra os valores diários de radiação fotossinteticamente ativa interceptada, em  $\text{MJ.m}^{-2}$ , ao longo do ciclo de vida da soja, em função dos dias após emergência (DAE), para a soja sob o nível máximo de radiação (IPTP) e sob a redução da radiação (ISFV).

Observou-se que, após a retirada do sombreamento, aos 51 DAE, a soja que foi sombreada durante a fase vegetativa (ISFV) passou a interceptar, praticamente, a mesma quantidade de radiação que a soja do IPTP. Isso evidencia que, além de as folhas dessas plantas apresentarem mecanismos para otimizar a interceptação quando o nível de luz é reduzido, o estresse de luz não provocou alterações irreversíveis

nos componentes fisiológicos, pois, imediatamente depois de restabelecido o nível normal de radiação, essas plantas apresentaram capacidade de se recuperarem, passando a interceptar valores semelhantes aos da soja, que durante todo o seu ciclo não recebeu estresse de água e de luz (IPTP).

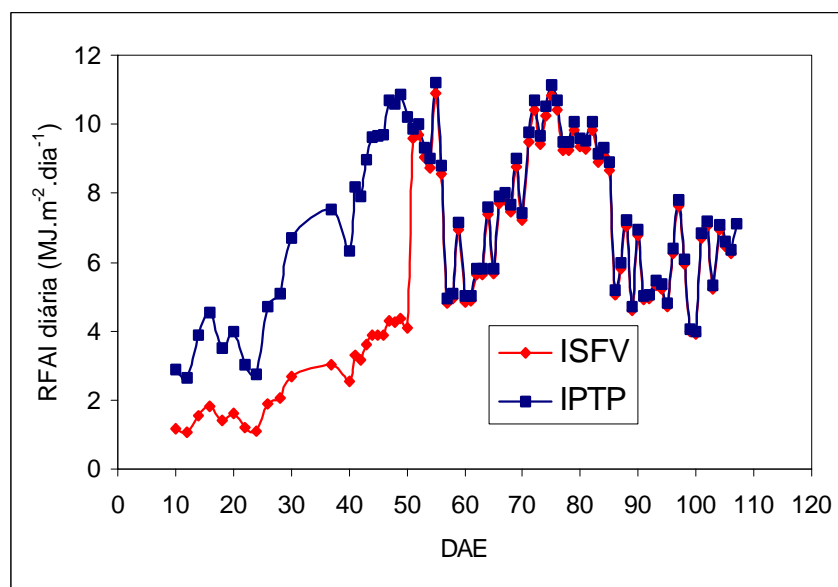


Figura 8 - Variação da RFA diária interceptada pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98 e sob os tratamentos IPTP e ISFV.

#### 4.4. Eficiência de uso da radiação (EUR) pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98

No Quadro 18 mostram-se os valores da eficiência de uso da radiação ( $\text{g.MJ}^{-1}$ ) e da matéria seca produzida ( $\text{g.m}^{-2}$ ) pela soja, durante as suas fases de desenvolvimento, nos quatro tratamentos utilizados.

Nesse quadro, observa-se que houve uma ligeira variação na EUR entre as fases de cada tratamento. O menor valor de EUR,  $0,75 \text{ g.MJ}^{-1}$ , ocorreu durante a fase vegetativa, nas plantas que não receberam água durante essa fase (NIFV), e o maior,  $2,06 \text{ g.MJ}^{-1}$ , foi na fase de enchimento de grãos, nas plantas que receberam água durante todo o seu ciclo de vida (IPTP).

Neste experimento, o valor da radiação interceptada (Quadro 16) e o da EUR (Quadro 18) apresentados pela soja do NIFV são opostos aos determinados por COSTA et al. (1999), em que os autores constataram que o estresse hídrico na FV

diminui a RFAI, porém a EUR tem aumento na mesma proporção. Desse modo, fica evidenciado que, quando o estresse hídrico na fase vegetativa não é severo (experimento 1997/98), as plantas mantêm a sua capacidade de interceptação, entretanto o estresse moderado se reflete na capacidade de utilização da radiação das mesmas. No entanto, se o estresse é severo, elas se protegem dele, por meio de diminuição da RFAI, e em seguida compensam essa redução na RFAI, aumentando a EUR.

Na fase vegetativa, as parcelas em que a soja se desenvolveu nas mesmas condições de luz e água (IPTP e NIFF), observou-se que o NIFF apresentou eficiência de 18% maior que a do tratamento IPTP. Em outros experimentos realizados no mesmo local e mesmos tratamentos, a diferença máxima entre a eficiência EUR da soja do NIFF e a do IPTP foi de 3% (COSTA et al., 1999). Quando a cultura está nas mesmas condições ambientais e hídricas, a literatura justifica essa diferença na EUR pela ocorrência de variação nas taxas de troca de CO<sub>2</sub> e de expansão celular, por uma diferenciação na taxa do movimento de água no solo (TUNER et al., 1985; DAVIES et al., 1990) e, até mesmo, por diferenciação no conteúdo de nitrogênio das folhas da soja (SINCLAIR e HORIE, 1989; GREEN, 1987).

Quadro 18 - Valores da eficiência de uso da radiação (EUR, g.MJ<sup>-1</sup>) e matéria seca (MS, g.m<sup>-2</sup>) da soja em cada fase de desenvolvimento, nos diversos tratamentos a que foi submetida durante o ano agrícola 1997/98

Tratamento	FV		FF		EG	
	EUR	MS	EUR	MS	EUR	MS
IPTP	1,07	229	1,58	473	2,06	662
NIFV	0,75	214	1,43	323	1,54	509
NIFF	1,30	272	1,36	329	2,02	774
ISFV	1,28	152	1,17	224	1,50	286

Comparando as EUR da fase vegetativa das plantas que sofreram estresse hídrico nessa fase (NIFV) com a EUR das que receberam sombreamento (ISFV), observa-se que as plantas que tiveram redução na radiação pelo sombreamento superaram em 41% a capacidade de eficiência de uso da radiação das plantas que sofreram estresse hídrico, ou seja, no que se refere à eficiência de uso da radiação, o estresse hídrico na soja durante a fase vegetativa é mais prejudicial em relação a

redução da radiação na mesma fase.

Na fase de florescimento, a eficiência de uso da radiação tonou-se menor nas plantas que receberam sombreamento durante a fase vegetativa em relação às que sofreram estresse hídrico naquela fase, com a ressalva de que a diferença foi 18% a mais no NIFV.

Na fase de enchimento de grãos, os valores da EUR entre tratamentos apresentaram uma variação entre  $2,06 \text{ g.MJ}^{-2}$  no IPTP e  $1,50 \text{ g.MJ}^{-2}$  no ISFV. Para as plantas que sofreram estresse na fase vegetativa, o estresse hídrico apresentou eficiência 3% maior que às plantas sob estresse de radiação, e a produção de matéria seca das plantas do NIFV foi 44% maior que à das plantas do tratamento ISFV.

No Quadro 19 são mostrados os valores da eficiência de uso da radiação (EUR) e matéria seca produzida pela soja (MS), durante todo o ciclo de vida da soja, de acordo com os tratamentos utilizados.

A variação da eficiência de uso da radiação (EUR) entre tratamentos, ao longo do ciclo de vida da soja, foi 1,40 a  $1,84 \text{ g.MJ}^{-1}$  (Quadro 19). Entre os tratamentos não sombreados, aquele que não recebeu água na fase vegetativa (NIFV) foi o que apresentou menor eficiência de uso da radiação,  $1,46 \text{ g.MJ}^{-1}$ , ou seja, 21% menor que a eficiência do IPTP, que foi de  $1,84 \text{ g.MJ}^{-1}$ . Em termos de matéria seca produzida ao longo do ciclo de vida da soja, o estresse hídrico na fase vegetativa causou diminuição de 23%, em relação à matéria seca produzida pela soja irrigada por todo o período (IPTP).

Observou-se que o estresse hídrico na fase de florescimento (NIFF) ocasionou redução de 9% na eficiência de uso da radiação em relação ao IPTP, porém essa diminuição não afetou a produção de matéria seca, uma vez que as plantas desse tratamento (NIFF) produziram, de forma semelhante, as do IPTP (Quadro 19).

A competição por luz entre as plantas sombreadas diminuiu a EUR final em 24%, em relação ao IPTP e, a produção de matéria seca desse tratamento, que foi de  $663 \text{ g.m}^{-2}$ , representou redução de 51% na matéria seca final.

Quadro 19 – Valores da eficiência de uso da radiação (EUR) e matéria seca (MS) produzida pela soja durante o seu ciclo de vida e nos diversos tratamentos a que foi submetida durante o ano agrícola 1997/98

Tratamento	Ciclo Completo	
	EUR (g.MJ <sup>-1</sup> )	MS (g.m <sup>-2</sup> )
IPTP	1,84	1.365
NIFV	1,46	1.046
NIFF	1,67	1.374
ISFV	1,40	663

Ao comparar a EUR entre os tratamentos não-irrigado (NIFV) e sombreado na fase vegetativa (ISFV), observou-se que a diferença entre eles foi de apenas 4% desfavorável para o ISFV. Porém, quando foi analisada a matéria seca final produzida por esses tratamentos, verificou-se que o NIFV produziu 383 g.m<sup>-2</sup> a mais que o ISFV, o que representa uma percentagem de 37%.

#### 4.5. Matéria seca total (MS) e partição de matéria seca para os órgãos das plantas de soja

A Figura 9 ilustra a variação da matéria seca total acumulada pela soja, em g.m<sup>-2</sup>, em função do número de dias após a emergência (DAE), nos quatro tratamentos.

Foram observadas diferenças significativas entre tratamentos ao nível de 1% de probabilidade (Quadros 3A e 4A).

Observou-se que, de modo geral, o crescimento da soja se deu em três fases sucessivas, ou seja, uma fase inicial, caracterizada por um crescimento lento; uma fase intermediária, na qual a acumulação de matéria seca foi produzida de uma forma rápida e ocorreu entre 30 e 80 DAE; uma fase final, em que se observou que houve queda no crescimento, indicando que a cultura diminuiu a capacidade de realizar os processos fisiológicos para produção de biomassa. A fase de redução no crescimento da soja teve início após os 80 DAE, exceto nos tratamentos IPTP e ISFV, que permaneceram crescendo por mais tempo.

Em geral, na fase inicial, as diferenças de matéria seca acumulada pelas plantas de soja foram pequenas nos quatro tratamentos.

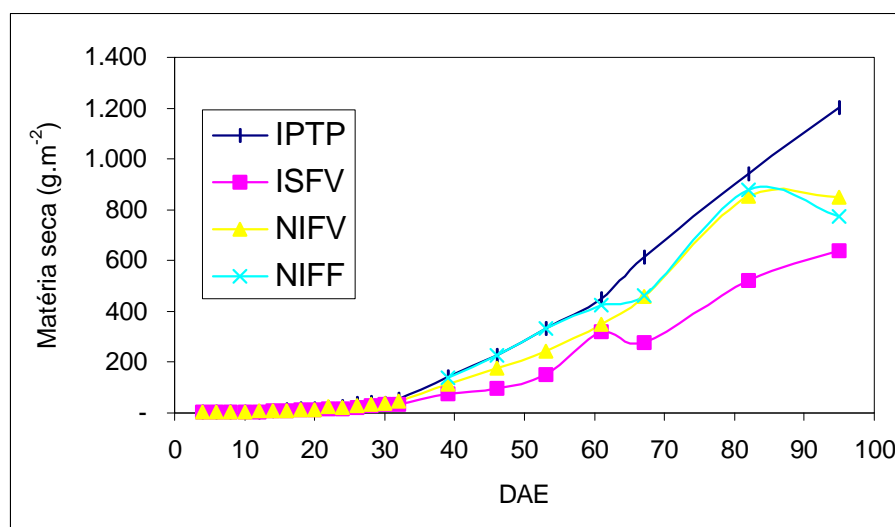


Figura 9 - Variação da matéria seca total ao longo do ciclo de vida da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

Na fase intermediária, na qual o crescimento da cultura ocorreu de forma exponencial, as variações do metabolismo que envolve os processos físicos e biológicos se processaram de maneira mais intensa. Dessa forma, nesse período esses processos de crescimento das culturas se tornam complexos e, portanto, mais difíceis de serem entendidos nos diversos tratamentos utilizados. No intervalo entre 30 e 60 DAE, as diferenças entre tratamentos, com relação ao IPTP, só foram observadas no NIFV e ISFV. Após esse período, o NIFF também passou a apresentar redução na sua produção de matéria seca, em comparação com o IPTP. Nesse período, o NIFV e o NIFF produziram valores semelhantes entre si, enquanto o efeito do sombreamento (ISFV) foi visivelmente verificado pelos baixos valores de matéria seca apresentados pela soja.

A Figura 10 ilustra a porcentagem de distribuição de matéria seca para raízes, em função dos dias após a emergência (DAE).

Foram observadas diferenças significativas, ao nível de 1%, entre tratamentos na partição de matéria seca para a raiz (Quadros 5A e 6A).

Observou-se que entre o início do ciclo e os 30 DAE, as curvas que representam a porcentagem de matéria seca distribuída para as raízes, nos quatro tratamentos, apresentaram configuração simétrica. Essa simetria corresponde, inicialmente, a uma distribuição crescente, que se inicia com valores próximos de 8%

e atinge um valor máximo próximo de 25%, aproximadamente aos 20 DAE, quando, então, inicia um decréscimo na percentagem de fotoassimilados alocados para a raiz, até atingir novamente uma percentagem de distribuição de 8%. Aos 20 DAE, quando a raiz atinge percentual máximo na percentual de alocação, a percentagem de matéria seca distribuída para o cotilédone atingiu valores mínimos (Figura 12). No restante do ciclo, ou seja, entre os 30 DAE e a maturação fisiológica, a percentagem de matéria seca distribuída para as raízes apresenta uma contínua tendência de decréscimo (Figura 10).

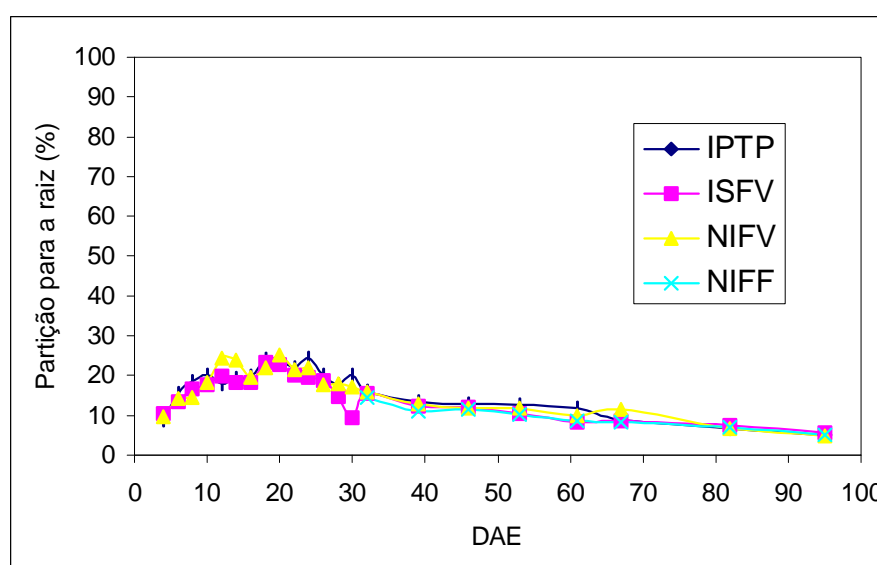


Figura 10 – Partição de matéria seca para as raízes da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

A Figura 11 ilustra a percentagem de matéria seca distribuída para o caule, em função dos dias após a emergência da cultura (DAE), em todos os tratamentos utilizados.

Houve diferenças significativas entre tratamentos, no nível de 1% de probabilidade, com relação à matéria seca particionada para o caule (Quadros 7A e 8A).

Até os 30 DAE, a distribuição de matéria seca para o caule, embora crescente, deu-se de forma lenta. Em seguida, a distribuição de fotoassimilados indica que o caule destacou-se como um dreno metabólico preferencial em relação

aos demais órgãos da planta. Essa distribuição preferencial de matéria seca caulinar permaneceu até os 65 DAE, quando atingiu valores próximos de 50%. Em seguida, a distribuição de fotoassimilados para o caule diminuiu até a cultura atingir a maturidade fisiológica.

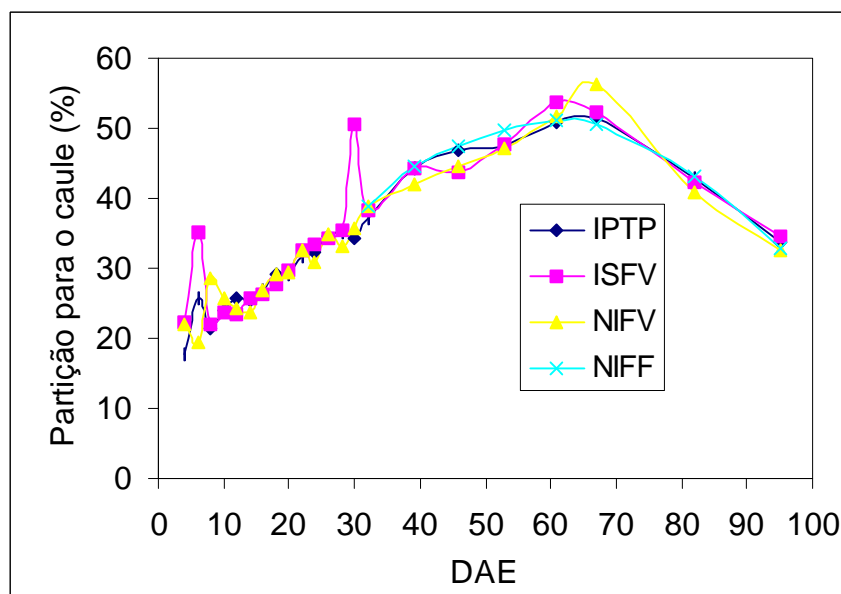


Figura 11 - Partição de matéria seca para o caule da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

A Figura 12 ilustra a translocação de fotoassimilados para os cotilédones da soja, em função dos dias após a emergência da cultura.

No nível de 1% de probabilidade, não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos na partição de matéria seca para os cotilédones (Quadros 9A e 10A).

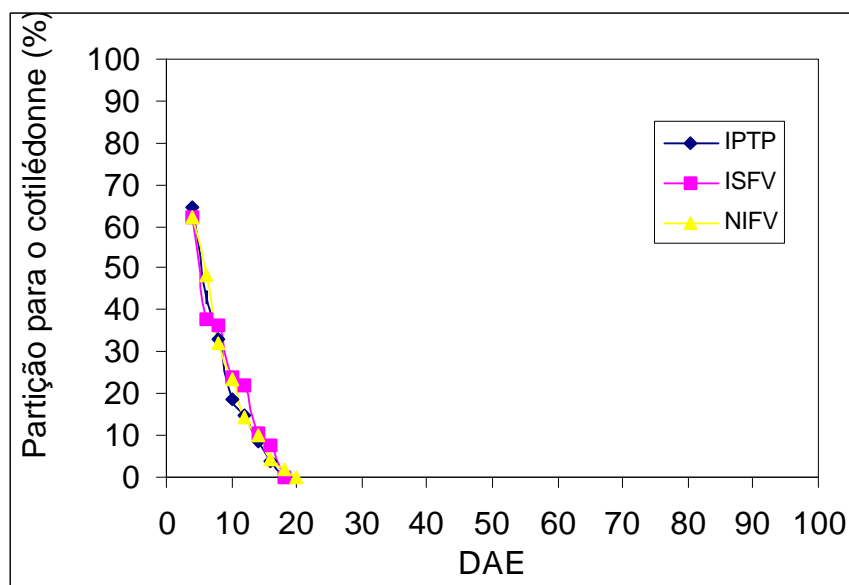


Figura 12 - Partição de matéria seca para os cotilédones da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

Verificou-se que o cotilédone, em todos os tratamentos, nos primeiros DAE contribuiu com mais de 60% na matéria seca total da cultura. Após atingir essa contribuição máxima, a matéria seca alocada para o cotilédone foi reduzida até este órgão deixar de existir (20 DAE).

A Figura 13 ilustra a translocação de fotoassimilados para as folhas da soja, em função dos dias após a emergência da cultura.

Estatisticamente, no nível de 1% de probabilidade, foram observadas diferenças na quantidade de matéria seca distribuída para as folhas das plantas de soja dos tratamentos (Quadros 11A e 12A).

No início do ciclo, a percentagem de matéria seca alocada para as folhas, ao contrário do que ocorreu com o cotilédone (Figura 12), é mínima e, próximo dos 20 DAE, atinge valores máximos, alcançando uma percentagem em torno de 50%.

A Figura 14 ilustra a translocação de fotoassimilados para as flores da soja, em função dos dias após a emergência da cultura.

Entre os tratamentos, a matéria seca particionada para as flores foi significativamente diferenciada, no nível de 1% de probabilidade (Quadros 13A e 14A).

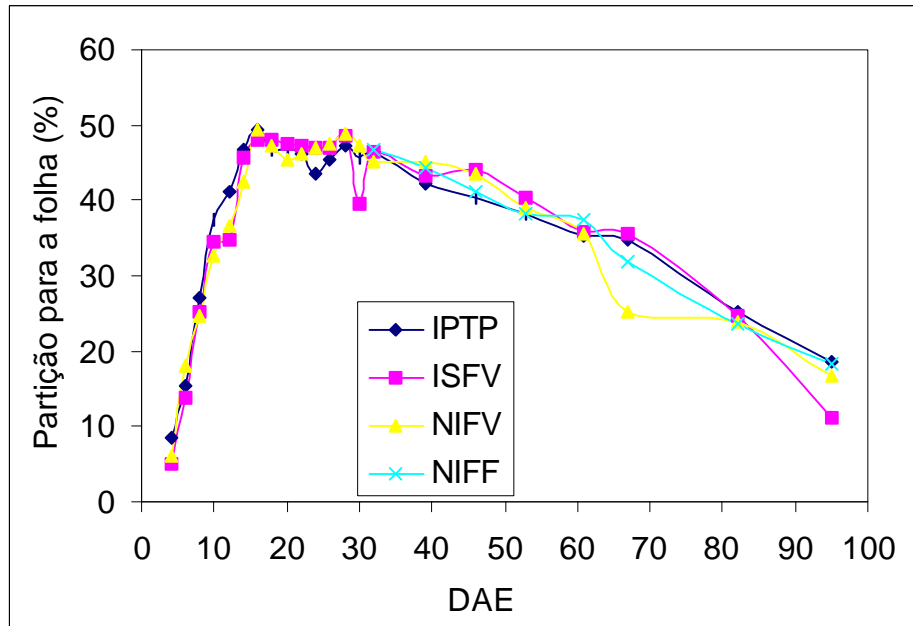


Figura 13 - Partição de matéria seca para as folhas da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

A contribuição de fotoassimilados das flores tem início a partir dos 54 DAE.

Observou-se que os tratamentos que receberam estresse hídrico nas fases vegetativa e de florescimento foram os que apresentaram a maior percentagem de fotoassimilados para as flores, com valores máximos acima de 2,5%. O tratamento IPTP apresentou percentual máximo de alocação para as flores em torno de 2% e o ISFV, em torno de 1,5%.

A Figura 15 ilustra a translocação de fotoassimilados para os grãos, em função dos dias após a emergência da cultura.

A partição de matéria seca para os grãos das plantas de soja não apresentaram, no nível de 1% de probabilidade, diferenças entre tratamentos (Quadros 15A e 16A).

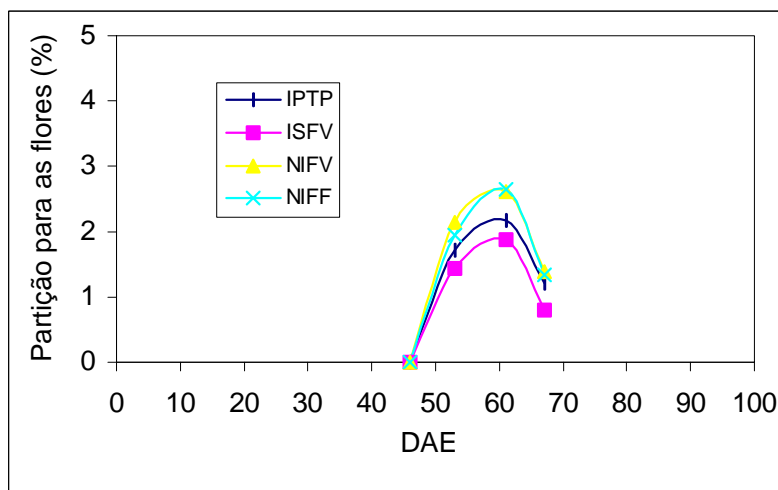


Figura 14 - Partição de matéria seca para as flores da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

A percentagem de distribuição de matéria seca para os grãos, em todos os tratamentos, iniciou-se aos 60 DAE e de forma crescente, atingindo valores máximos em torno de 50%. Pela matéria seca particionada para o grão, pôde-se observar que o índice de colheita, que é um dos fatores que determinam a produtividade, em todos os tratamentos foi semelhante até os 90 DAE, e que a partir dessa data ocorreu ligeira diferenciação entre estes, com a ressalva de que as plantas sombreadas enceram-se com um índice de colheita ligeiramente maior que os demais tratamentos.

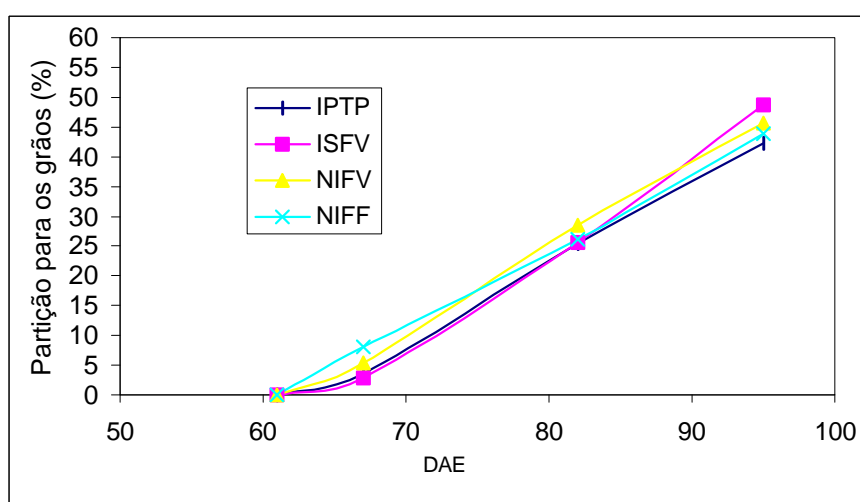


Figura 15 - Partição de matéria seca para os grãos da soja cultivada no ano agrícola 1997/98.

O acúmulo seqüencial de matéria seca para os diversos órgãos das plantas de soja, ilustrada nas Figuras 10 a 15, denota que, em virtude das diversas transformações morfológicas sofridas por essas plantas, em alguns momentos ao longo do ciclo da soja houve ocorrências de mudanças do depósito preferencial entre os órgãos dessas plantas.

#### **4.6. Eficiência de uso da água (EUA) pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98**

No Quadro 20 apresentam-se os valores de eficiência de uso da água (EUA) pela soja, nos distintos tratamentos, durante cada fase de desenvolvimento da cultura.

Observa-se, nesse quadro, variação, entre fases e entre tratamentos, da eficiência de uso da água (EUA) na cultura da soja.

Na fase vegetativa, a soja que não recebeu água durante essa fase (NIFV) apresentou melhor capacidade de uso da água, com um valor de EUA de 72% acima do apresentado pela soja que foi irrigada em todos os períodos (IPTP) (Quadro 20). Essa grande diferença na EUR desses dois tratamentos indica que as plantas do IPTP tiveram volume de água (precipitação e irrigação) agregado bem maior do que a cultura necessitou.

Neste experimento, a EUA da soja apresentou grande alteração com o sombreamento, uma vez, que a cultura exposta a redução da radiação durante essa fase (ISFV) teve uma redução na EUA de 38% em relação ao IPTP e de 82% em relação ao NIFV.

Na fase de florescimento, a maior capacidade de eficiência de uso da água foi observada no IPTP, com 2,08, e em seguida pelo NIFV, com 1,35 kg.mm<sup>-1</sup>. Os efeitos do sombreamento imposta à cultura na fase vegetativa repercutiram na EUA da fase de florescimento, uma vez que a soja sombreada apresentou EUA de 1,05, ou seja, redução de 50%, em relação ao IPTP. Nesta fase, o NIFF apresentou EUA de 52% maior que o IPTP.

Na fase de enchimento de grãos, observou-se uma significativa recuperação da eficiência de uso da água da soja que foi sombreada, ou seja, 1,80, que equivale a aumentos de 75% e 42% em relação às EUA da fase vegetativa e da fase de florescimento, respectivamente. Nesta fase (FEG), a eficiência de uso da água do tratamento que recebeu estresse de água (NIFV) e a do que recebeu sombreamento

(ISFV) na fase vegetativa apresentaram diferença entre si de 32%, desfavorável ao ISFV.

Outro resultado importante é fato de a EUA do NIFF, nas fases de florescimento e enchimento de grãos, ter sido bastante elevado em relação aos valores da EUA dos demais tratamentos.

Quadro 20 - Eficiência de uso da água ( $\text{kg de MS.mm}^{-1}$  de água) pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>FV</b>	<b>FF</b>	<b>FEG</b>
IPTP	0,72	2,08	3,48
NIFV	2,56	1,35	2,65
NIFF	1,40	4,30	4,00
ISFV	0,45	1,05	1,80

#### **4.7. Produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1997/98**

O rendimento de grãos pela soja, em todos os tratamentos, estão apresentados no Quadro 21.

No que se refere a produtividade final da soja, não foi verificado a ocorrência de diferenças entre os tratamentos, no nível de 1% de probabilidade (Quadros 17A e 18A). Entretanto, pelo Quadro 21, observa-se variação em torno de 27% entre os tratamentos que apresentaram a maior e a menor produtividade.

A maior redução na produtividade da soja foi observada no tratamento sombreado na fase vegetativa (ISFV), que apresentou rendimento de  $2,7 \text{ ton.ha}^{-1}$ , ou seja, uma queda de 27%, em relação aos maiores rendimentos de  $3,7 \text{ ton.ha}^{-1}$  dos tratamentos IPTP e NIFV.

Um resultado que merece destaque é o fato de a soja que não foi irrigada durante a fase vegetativa (NIFV) ter apresentado a mesma produtividade em relação à cultura que não sofreu nenhum estresse ao longo do seu ciclo (IPTP). O rendimento das parcelas que não foram irrigadas durante a fase de florescimento (NIFF) apresentou redução de 19% em relação aos tratamentos com maiores produtividades. As produtividades apresentadas pelos tratamentos IPTP, NIFV e NIFF tendem a concordar com as encontradas por PEREIRA (1998).

Quadro 21 - Produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1997/1998

<b>Tratamentos</b>	<b>Produtividade (ton.ha<sup>-1</sup>)</b>
IPTP	3,7
NIFV	3,7
NIFF	3,0
ISFV	2,7

Em todos os tratamentos, os índices de colheita foram semelhantes (Figura 15). Assim como a produtividade pode ser considerada um produto entre o índice de colheita (IC), a EUR e a RFAI, observou-se que, quando se reduziu o nível de radiação e se manteve o solo sob umidade satisfatória, a EUR foi maior, mas o baixo nível de radiação foi o fator determinante na baixa produtividade apresentada pelas plantas sombreadas. No caso das plantas que foram mantidas sob nível normal de radiação e sobre estresse hídrico durante a fase vegetativa (NIFV), observou-se que a RFAI não variou, mas a EUR foi menor, do que se pode concluir que, nesse caso, também o fator que mais influenciou a produtividade foi a RFAI.

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÃO REFERENTES AO EXPERIMENTO REALIZADO NO ANO AGRÍCOLA 1998/99**

### **5.1. Caracterização das condições meteorológicas durante o ano agrícola 1998/99**

#### **5.1.1. Variação da irradiância solar global ( $R_g$ ) e saldo de radiação ( $R_n$ )**

A evolução da irradiância solar global durante o ciclo de desenvolvimento da soja plantada no período de dezembro de 1998 a abril de 1999 está ilustrada na Figura 16. No Quadro 22, apresentam-se as médias correspondentes às fases vegetativa (FV), de florescimento (FF) e de enchimento de grãos (FEG).

Como pode ser observado na Figura 16, a irradiância solar global apresentou grandes oscilações durante o período experimental, variando de 9,0 a 24,7  $\text{MJ.m}^{-2}$  e apresentando um valor médio nesse período de 17,1  $\text{MJ.m}^{-2}$  (Quadro 22). As grandes oscilações entre os valores diários foram motivadas pela alta nebulosidade da região, comum na época das chuvas. Os valores mais elevados foram observados no período de 30 a 73 DAP, os quais ocorreram, em parte, na segunda metade da fase vegetativa e os demais, em todo o estágio de florescimento.

Durante a primeira metade da fase vegetativa (FV) da soja, a maioria das estimativas da irradiância solar global apresentou-se com valores abaixo da média de 17,4  $\text{MJ.m}^{-2}$ , ao passo que na outra metade se observou-se maior predominância de valores superiores à média dessa fase. Os valores da irradiância global observados

abaixo da média da fase vegetativa foram justificados pela ocorrência de baixos valores de razão de insolação ( $n/N$ ) (Figura 17) observados no período de implantação da cultura que, por sua vez, são resultados da alta nebulosidade. No entanto, a alta razão de insolação verificada na segunda metade da fase vegetativa (Figura 17) justifica a maior frequência de valores de irradiância global ocorridos sido acima da média.

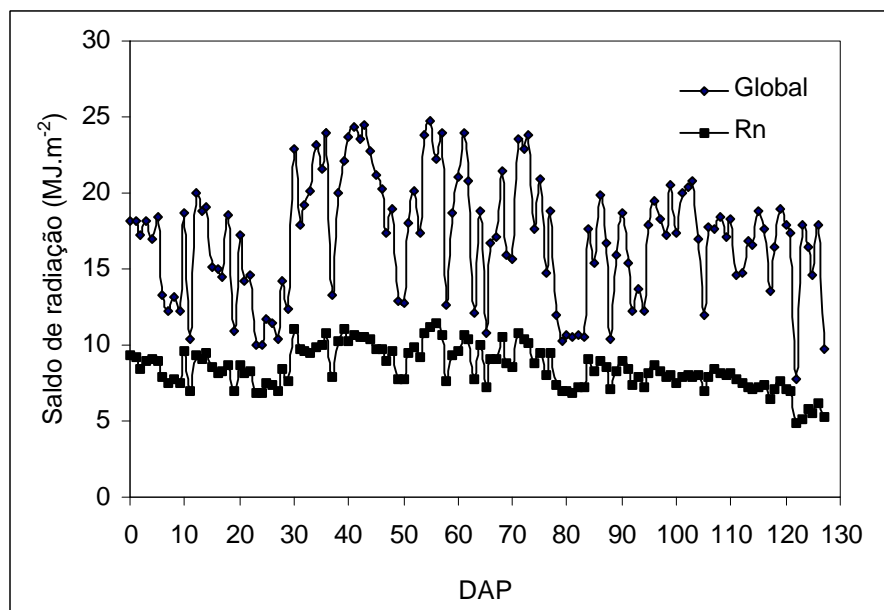


Figura 16 - Variação da irradiância solar global diária e saldo de radiação no período experimental 1998/99.

Embora o estágio de florescimento (FF) tenha sido o período de desenvolvimento da soja em que foi observado o maior valor médio da irradiância global diária, ou seja,  $18,5 \text{ MJ.m}^{-2}$ , nesse período a evolução desse parâmetro ficou caracterizada pela presença de grandes oscilações entre os valores máximos e mínimos.

No período de enchimento de grãos (FEG) as oscilações foram de menores frequência e amplitude. Nesse período, os ângulos da declinação solar apresentam-se mais elevados, o que ocasiona diminuição nos valores da irradiância solar incidente na superfície da Terra, fato que lhe conferiu a menor média entre as fases, ou seja,  $15,9 \text{ MJ.m}^{-2}$  (Figura 16). Nessa fase, também, devido à alta nebulosidade comum nessa época, observou-se grande variação na  $n/N$  (Figura 17), que foi outro causador

da diminuição da irradiância global.

De modo geral, a irradiância solar global apresentou valores mais elevados nos três primeiros meses do período experimental, decrescendo à medida que o ciclo da cultura foi aproximando-se do final.

Quadro 22 - Médias da irradiância global (Rg) e do saldo de radiação em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de desenvolvimento</b>	<b>Rg (MJ.m<sup>-2</sup>)</b>	<b>Rn (MJ.m<sup>-2</sup>)</b>
Fase vegetativa	17,4	9,0
Fase de florescimento	18,5	9,4
Fase de enchimento de grãos	15,9	7,5
Ciclo completo	17,1	8,5

O saldo de irradiância desse período apresentou grandes variações diárias, sendo observados valores extremos como 4,9 e 11,5 MJ.m<sup>-2</sup> (Figura 16) e o valor médio do período completo foi de 9,0 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 26). Nas fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, o saldo de irradiância foi, em média, de 9,0; 9,4; e 7,5 MJ.m<sup>-2</sup>, respectivamente (Quadro 22).

### 5.1.2. Variação da razão de insolação (n/N)

A evolução da razão da insolação (n/N), durante o ciclo de desenvolvimento da soja plantada no período de dezembro de 1998 a abril de 1999, está ilustrada na Figura 17. No Quadro 23, apresentam-se as médias correspondentes às fases vegetativa (FV), de florescimento (FF) e de enchimento de grãos (FEG).

As médias da razão de insolação nas fases vegetativa (FV), de florescimento (FF) e de enchimento de grãos (FEG) foram de, respectivamente, 0,5; 0,6; e 0,6 (Quadro 23). Na fase vegetativa, os valores da n/N oscilaram entre 0,11 e 0,96; na fase de florescimento, a oscilação dos valores de n/N foi entre 0,12 e 0,95; e na de enchimento de grãos, a n/N da faixa de variação dos valores foi 0 a 0,97.

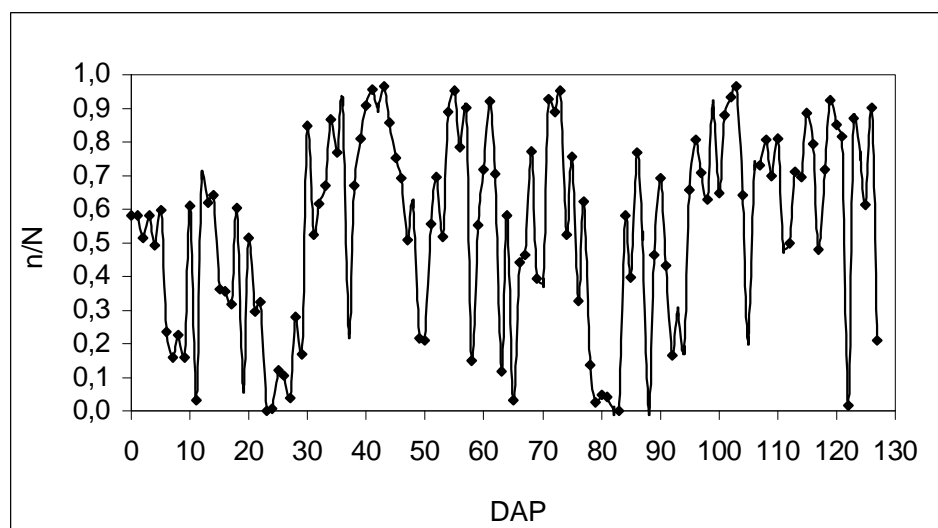


Figura 17 - Variação da razão de insolação (n/N) no período experimental 1998/99.

Quadro 23 - Médias da razão de insolação (n/N) em cada fase de desenvolvimento da soja

Fase de Desenvolvimento	Razão de Insolação (n/N)
Fase vegetativa	0,5
Fase de florescimento	0,6
Fase de enchimento de grãos	0,6
Ciclo completo	0,5

### 5.1.3. Variação da temperatura do ar

A Figura 18 ilustra as variações diárias das temperaturas máximas (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) registradas ao longo do período experimental. No Quadro 24, apresentam-se as suas médias de cada fase de desenvolvimento.

De acordo com a curva dos valores de temperatura máxima apresentados, observou-se que, ao longo do ciclo da soja, o maior valor de temperatura máxima foi de 35 °C e o menor, de 21,4 °C, os quais ocorreram, respectivamente, nas fases vegetativa e de enchimento de grãos (Figura 18). Os valores médios das temperaturas máximas observados nas três fases fenológicas da cultura foram de 29,8; 30,2; e 28,6 °C (Quadro 24).

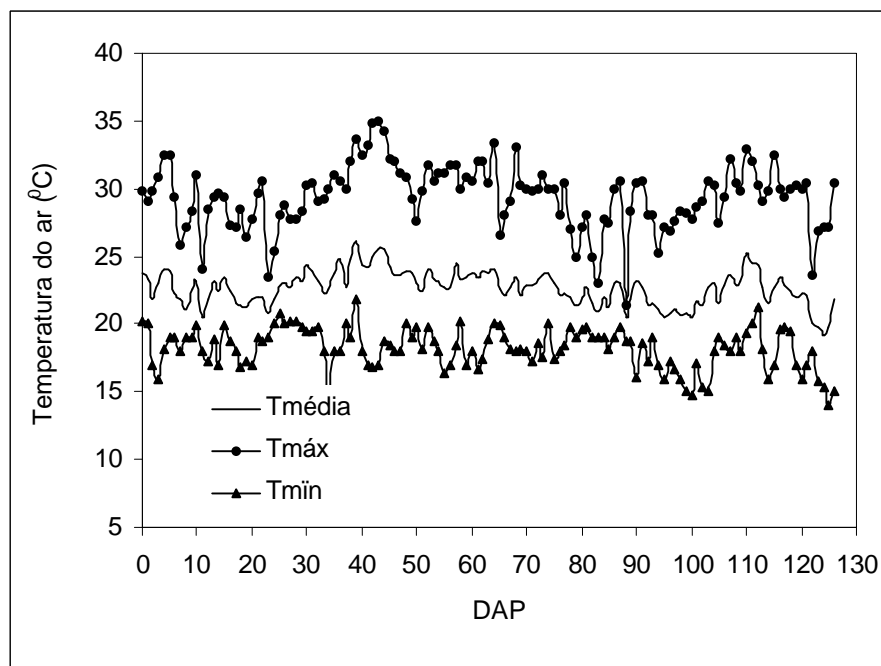


Figura 18 - Variação da temperaturas diárias máxima, mínima e média no período experimental 1998/99.

Quadro 24 - Médias das temperaturas máxima (Tmax), mínima (Tmin) e média (Tmed) em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fases de Desenvolvimento</b>	<b>Tmax (°C)</b>	<b>Tmin (°C)</b>	<b>Tmed (°C)</b>
Fase vegetativa	29,8	18,6	23,1
Fase de florescimento	30,2	18,3	23,1
Fase de enchimento de grãos	28,6	17,7	23,0
Ciclo completo	29,4	18,5	22,7

As temperaturas mínimas oscilaram, ao longo do período, entre 21,8 e 14,0<sup>o</sup> C, sendo o menor valor (14<sup>o</sup> C) registrado aos 125 DAP, quando a cultura se encontrava no final do ciclo. As médias das temperaturas mínimas, em cada fase fenológica, foram de 18,6; 18,3; e 17,7 <sup>o</sup>C (Quadro 24). A amplitude térmica do ciclo da cultura foi de 21 <sup>o</sup>C .

O menor (19,2 <sup>o</sup>C) e o maior (26,1 <sup>o</sup>C) valor das temperaturas médias foram registrados, respectivamente, durante a fase vegetativa e de enchimento de grãos (Figura 34). As temperaturas médias apresentaram, respectivamente, valores de 23,1; 23,1; e 22,0 <sup>o</sup>C, nas três fases de desenvolvimento (Quadro 24).

#### 5.1.4. Graus-dia acumulados no período

No Quadro 25, apresentam-se os graus-dia acumulados em cada período fenológico da soja.

Entre o início e final do ciclo da soja foram acumulados 1.768,6 °C, sendo, desse total, 795,1 °C foram acumulados durante a fase vegetativa, 329,7 °C na fase de florescimento e 644,8 °C na fase de enchimento de grãos (Quadro 25).

Quadro 25 - Valores de graus-dia acumulados em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de Desenvolvimento</b>	<b>Gruas-dia (°C.dia<sup>-1</sup>)</b>
Fase vegetativa	795,1
Fase de florescimento	329,7
Fase de enchimento de grãos	644,8
Ciclo completo	1.768,6

#### 5.1.5. Variação da umidade relativa do ar

A Figura 19 ilustra as variações diárias da umidade relativa do ar ao longo do período experimental, e no Quadro 26 são apresentadas as médias correspondentes a cada fase de desenvolvimento da soja.

Observou-se que o valor máximo de 97,7% foi registrado aos 23 DAP, ou seja, na fase inicial de implantação da soja, e o valor mínimo de 65,7% foi verificado durante a fase de enchimento de grãos, mais precisamente aos 23 DAP (Figura 19). A umidade relativa média de todo o período foi de 85%. Os valores de umidade de 79,8; 77,3; e 83% representam as médias registradas durante as fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos, respectivamente (Quadro 26).

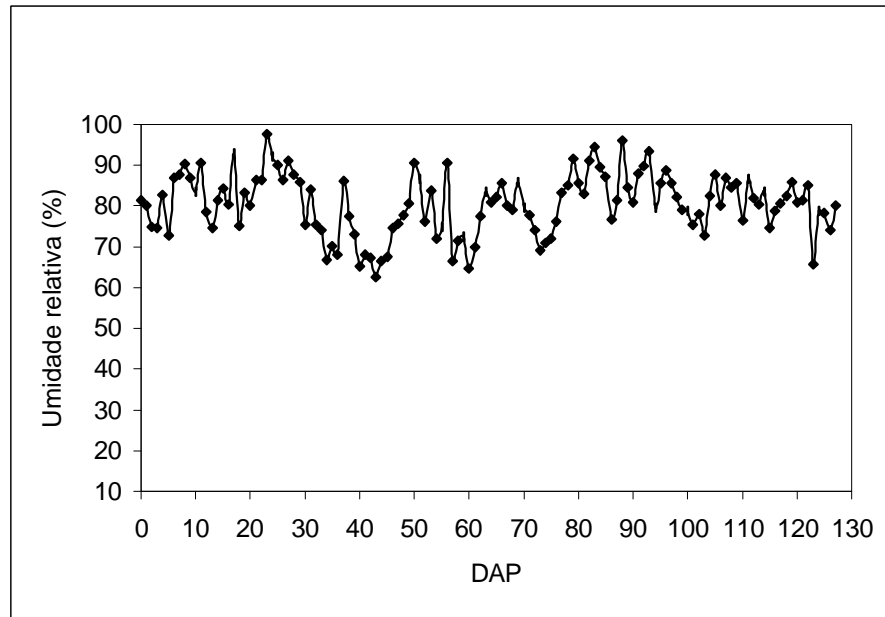


Figura 19 - Variação da umidade relativa do ar no período experimental 1998/99.

Quadro 26 - Valores médios da umidade relativa do ar em cada fase de desenvolvimento da soja

Fase de Desenvolvimento	Umidade Relativa (%)
Fase vegetativa	79,8
Fase de florescimento	77,3
Fase de enchimento de grãos	83,0
Ciclo completo	80,5

### 5.1.6. Variação da precipitação

A Figura 20 ilustra as variações diárias da precipitação ao longo do período experimental e no Quadro 27, apresentam-se as médias correspondentes a cada fase de desenvolvimento da soja.

A precipitação pluvial total no período experimental foi de 694,0 mm, sendo o valor diário médio durante o ciclo da soja de 5,4 mm.

Os valores médios de precipitação das fases vegetativa, de florescimento e de enchimento de grãos foram, respectivamente, de 5,1; 3,6; e 6,6 mm (Quadro 27). Esses valores não correspondem com as das épocas de maior e menor exigências de água pela soja, a qual apresenta baixo consumo de água no início do ciclo,

apresentando, posteriormente, aumento no consumo de água, que quando se aproxima do final do ciclo, volta a diminuir.

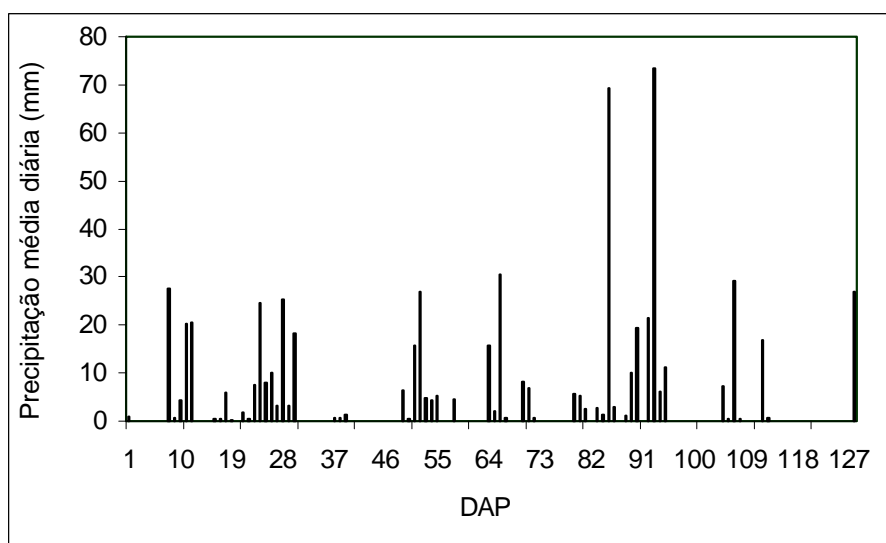


Figura 20 - Valores de precipitação pluvial diária no período experimental 1998/99.

Quadro 27 - Valores médios da precipitação em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de Desenvolvimento</b>	<b>Precipitação (mm)</b>
Fase vegetativa	5,1
Fase de florescimento	3,6
Fase de enchimento de grãos	6,6
Ciclo completo	5,4

A análise dos resultados indica que, durante o período experimental, ocorreram veranicos em épocas distintas (Quadro 28). O primeiro veranico, com duração de sete dias, foi verificado imediatamente após o plantio da cultura. O período mais longo, com total ausência de chuvas, ocorreu durante a fase de enchimento de grãos, o qual se prolongou por 14 dias (113 a 126 DAP). Ao longo do período experimental, observou-se que 54% dos dias foram caracterizados com total ausência de chuvas.

Quadro 28 – Épocas e números de dias com total ausência de precipitação ao longo do período experimental 1998/99

Época (DAP)	N <sup>o</sup> de Dias	Época (DAP)	N <sup>o</sup> de Dias
1 a 6	7	72 - 77	6
12 a 14	3	81	1
30 - 35	6	86	1
39 - 47	9	90	1
55 - 56	2	95 - 103	9
58 - 62	5	108 - 110	3
67 - 68	3	113 - 126	14

De modo geral, a distribuição das precipitações pluviais ocorreu de forma irregular, com chuvas esparsas ao longo do ciclo da soja. Essa distribuição irregular e a presença de veranicos evidenciam que as águas das chuvas não atenderam à exigência de uma lâmina mínima de 5 mm diários de que a soja necessita (JENSEN, 1973; BERLATO e BERGAMASCHI, 1978).

#### 5.1.7. Variação da evapotranspiração da soja

Na Figura 21, apresentam-se os valores da evapotranspiração ao longo do período experimental e no Quadro 29, as médias correspondentes a cada período de desenvolvimento da soja.

A evapotranspiração total durante todo o ciclo da soja foi de 385,2 mm, sendo o consumo médio diário de 3,0 mm.

A fase vegetativa apresentou um consumo total de água de 121,8 mm, com valor médio de 2,2 mm; na fase de florescimento, o consumo total foi de 110,5 mm, com valor médio diário de 4,8 mm; e na fase de enchimento de grãos, esse consumo foi de 152,9 mm, sendo o consumo médio diário de 3,1 mm (Quadro 29).

Durante a fase de florescimento, foram verificados os maiores consumos diários de água (Figura 21).

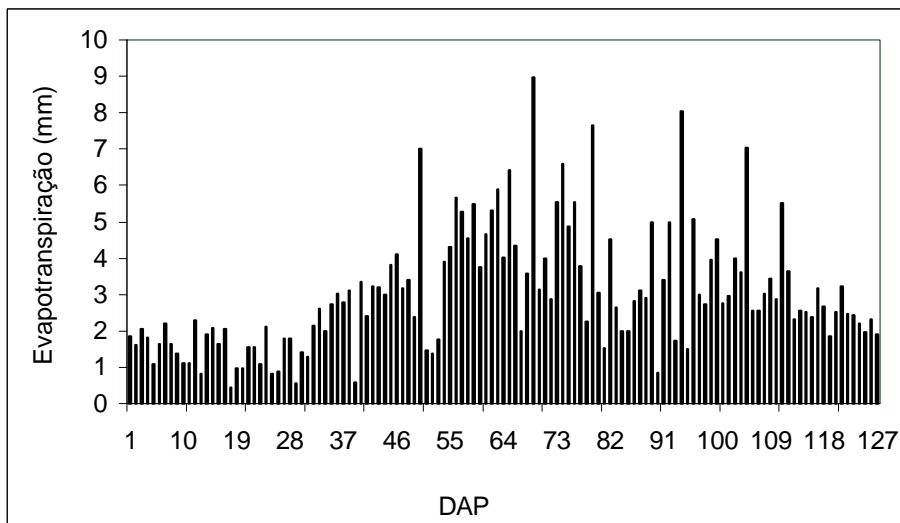


Figura 21 - Valores de evapotranspiração diária no período experimental 1998/99.

Quadro 29 - Valores médios de evapotranspiração em cada fase de desenvolvimento da soja

<b>Fase de Desenvolvimento</b>	<b>Evapotranspiração (mm)</b>
Fase vegetativa	2,2
Fase de florescimento	4,8
Fase de enchimento de grãos	3,1
Ciclo completo	3,0

## 5.2. Estádios de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

As datas do final e da duração de cada fase de desenvolvimento da soja são apresentadas no Quadro 30.

Como pode ser observado nesse quadro, em todos os tratamentos aplicados à soja a emergência, ou seja, o aparecimento dos cotilédones acima do solo, ocorreu na mesma data, mais especificamente em 20/12 de 1998. Também, pode-se constatar que, nesse ano, o tempo decorrido entre a data do plantio e a germinação foi de 11 dias, ou seja, neste experimento, houve atraso na germinação das sementes. Esse atraso foi devido à ausência de chuvas (Figura 20 e Quadro 28) e às maiores temperaturas (Figura 18) no início do experimento.

A diferença da duração das fases vegetativa e de florescimento em todos os tratamentos aplicados à soja foi de um intervalo de variação de mais ou menos dois dias. Quanto à fase de enchimento de grãos (FEG), a diferença de sua duração entre os tratamentos IPTP, NIFF e ISFV também se deu num intervalo de variação de dois dias. A soja que não foi irrigada durante a fase vegetativa teve a duração da sua fase de enchimento mais prolongada, em relação à dos demais tratamentos (Quadro 30).

Quadro 30 - Datas do final e duração de cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

	Data	DAP	DAE	Evento	Duração (dias)
	09/12/98	-	-	Plantio	-
	20/12/98	11	-	Emergência	-
<b>IPTP</b>	03/02/99	56	45	Fase vegetativa	56
	26/02/99	79	68	Fase de florescimento	23
	15/04/99	127	116	Fase de enchimento de grãos	48
<b>NIFV</b>	01/02/99	54	43	Fase vegetativa	54
	21/02/99	75	64	Fase de florescimento	21
	14/04/99	126	105	Fase de enchimento de grãos	51
<b>NIFF</b>	02/02/99	55	44	Fase vegetativa	55
	24/02/99	77	66	Fase de florescimento	22
	10/04/99	122	111	Fase de enchimento de grãos	45
<b>ISFV</b>	03/02/99	56	45	Fase vegetativa	56
	26/02/99	79	68	Fase de florescimento	23
	13/04/99	125	114	Fase de enchimento de grãos	46

### 5.3. Radiação fotossinteticamente ativa em cada período fenológico da soja

Neste item são apresentados e discutidos os resultados correspondentes aos valores da radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) e interceptada (RFAI), em cada fase de desenvolvimento e ao longo do ciclo e da soja.

#### 5.3.1. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA)

No Quadro 31, têm-se os valores da radiação fotossinteticamente ativa (RFA), na cultura da soja sob a máxima exposição à radiação e sob a tela de sombreamento

Quadro 31 - Valores de radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) durante cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

Períodos	Radiação fotossinteticamente Ativa Incidente (MJ.m <sup>-2</sup> )			
	IPTP	NIFV	NIFF	ISFV
FV <sup>1</sup>	411	387	400	203
FF <sup>2</sup>	207	203	207	207
EG <sup>3</sup>	385	408	358	371
CC <sup>4</sup>	1.003	998	965	781

<sup>1</sup> Fase vegetativa.

<sup>2</sup> Fase de florescimento.

<sup>3</sup> Fase de enchimento de grãos.

<sup>4</sup> Ciclo completo.

Durante a fase vegetativa, nos estandes com soja sombreada, a radiação fotossinteticamente ativa incidente foi de 203 MJ.m<sup>-2</sup>, enquanto sobre a soja que cresceu sem deficiência de luz e água (IPTP) incidiram 411 MJ.m<sup>-2</sup> de RFA. Assim, tem-se que o sombreamento ocasionou uma perda de 208 MJ.m<sup>-2</sup>, o que representa uma redução efetiva na radiação fotossinteticamente ativa incidente de 51%, em relação ao valor da soja que ficou exposta ao nível máximo de radiação. Durante a fase vegetativa, os valores da RFA nos tratamentos NIFV e NIFF foram, respectivamente, de 387, e 400 MJ.m<sup>-2</sup>.

As diferenças dos valores da RFA incidente, durante a fase vegetativa, nos tratamentos sem sombreamento (IPTP, NIFV e NIFF) são devidas àquelas diferenças ocorridas na duração dessa fase de cada tratamento. Pela mesma razão, quando todas

as parcelas do plantio da soja passaram a ter o mesmo nível de radiação, ou seja, a partir da fase de florescimento, as diferenças nos valores de RFA incidente, durante as fases subseqüentes, foram determinadas apenas pela duração de cada uma dessas fases.

Observou-se que, durante o ciclo da cultura (CC), nos tratamentos sem sombreamento a RFA incidente variou entre  $965 \text{ MJ.m}^{-2}$  e  $1.003 \text{ MJ.m}^{-2}$ , enquanto na soja que foi sombreada a RFA incidente foi de  $781 \text{ MJ.m}^{-2}$  (Quadro 31) . Assim, o efeito efetivo do sombreamento na fase vegetativa sobre a RFA, ao longo do ciclo da soja, foi de 22% da RFA.

### **5.3.2. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) pela soja**

No Quadro 32, mostram-se os valores, em  $\text{MJ.m}^{-2}$ , da quantidade da radiação fotossinteticamente ativa que foi interceptada em cada fase de desenvolvimento e ao longo do ciclo de vida da soja, em cada tratamento.

Durante a fase vegetativa, em que ainda não ocorreu o fechamento total do dossel, os valores contidos no Quadro 32 indicam que a soja do tratamento ISFV teve uma redução na radiação interceptada de 57%, em relação à soja do IPTP; 53% em relação à soja do NIFF; e 45% em relação à soja do NIFV.

De acordo, entretanto, com os valores do Quadro 33, que representam o poder de interceptação da cultura, tem-se que, apesar de o valor da RFAI no ISFV ter sido inferior aos valores dos demais tratamentos, as plantas de soja sombreadas não apresentaram mudanças nos seus órgãos de interceptação da radiação. Isso significa que essa redução na RFAI se deve apenas à diminuição da radiação incidente, causada pelo sombreamento. Em resumo, neste trabalho, independentemente do nível de radiação incidente, a fração interceptada não foi modificada, considerando-se que apenas o nível de radiação incidente foi diferenciado

Durante essa fase, as plantas sombreadas interceptaram a radiação incidente numa proporção idêntica à das plantas do IPTP e do NIFF. Tais resultados indicam que as plantas de soja apresentam mecanismo de auto-ajuste à baixa densidade de fluxo de radiação, o que pode ter ocorrido por meio de mudanças na arquitetura e morfologia foliares. As mudanças arquitetônicas são realizadas por meio de um

remanejamento das folhas (ângulo de inclinação), de tal forma que permitiu a incidência direta da radiação sob as mesmas, maximizando, assim, a interceptação. As mudanças morfológicas foram verificadas nas plantas sombreadas, através de aumento no seu índice de área foliar específica (AFE) (Figura 26).

Quanto às plantas de soja que não foram irrigadas durante a fase vegetativa, elas se mostraram com menor poder de interceptar a radiação, pois enquanto as dos demais tratamentos interceptaram entre 31 e 35%, essas plantas interceptaram 29% da RFA incidente. Dessa forma, tem-se que o estresse hídrico aplicado a soja durante a fase vegetativa reduziu em 17% a sua capacidade de interceptação, em relação ao poder de interceptação das plantas do IPTP (Quadro 33). O valor da RFAI pelas plantas de soja do NIFV (112 MJ.m<sup>-2</sup>) foi 22% menor que o valor do IPTP (143 MJ.m<sup>-2</sup>) (Quadro 32).

Quadro 32 - Valores de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) durante cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

Período	Radiação fotossinteticamente Ativa Interceptada (RFAI) - MJ.m <sup>-2</sup>			
	IPTP	NIFV	NIFF	ISFV
FV	143	112	132	62
FF	189	171	190	170
FEG	322	355	309	291
CC	655	638	630	523

<sup>1</sup> Fase vegetativa.

<sup>2</sup> Fase de florescimento.

<sup>3</sup> Fase de enchimento de grãos.

<sup>4</sup> Ciclo completo.

Essa diminuição no valor da RFAI das plantas sob deficiência de água advém de mudanças na translocação de fotoassilados entre as raízes e o aparato vegetal (as folhas). Assim, quando é submetida a um estresse hídrico na fase vegetativa, a planta utiliza-se deste artifício, visando aumentar a absorção de água no solo. Para atingir tal objetivo, as raízes são consideradas canais preferenciais de partição de matéria seca e, portanto, ocorre maior crescimento radicular em detrimento do crescimento da parte aérea (HOOGENBOOM et al., 1987). Essa redução na alocação de fotoassilados para a parte aérea das plantas de soja devido ao estresse hídrico resulta em diminuição da área foliar das plantas, e

conseqüentemente ocorre redução na eficiência de interceptação da radiação.

A influência do estresse hídrico durante a fase vegetativa na quantidade de radiação interceptada foi observada ser em torno de 40% por COSTA et al. (1999), quando estudaram o efeito do estresse hídrico aplicado nos diferentes estádios de desenvolvimento da soja.

Na fase de florescimento, as parcelas com plantas de soja que receberam estresse de água (NIFV) e de radiação (ISFV) apresentaram menor poder de interceptação da radiação (Quadro 33). Ressalta-se que o ISFV interceptou 170 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 32) dos 207 MJ.m<sup>-2</sup> incidentes no topo do dossel das plantas (Quadro 31), o que lhes confere um poder de interceptação de 82% (Quadro 33).

As plantas do NIFV, durante a fase de florescimento, interceptaram 171 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 32) dos 203 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 31) incidentes, ou seja, 84% (Quadro 33), o que significa que, na fase vegetativa, tanto a deficiência hídrica como a de radiação têm pouca interferência no mecanismo de interceptação da radiação durante a fase de florescimento.

O estresse hídrico sofrido pela soja durante a fase de florescimento (NIFF) não ocasionou alterações no mecanismo de captura da radiação incidente no topo do dossel, pois essas plantas interceptaram na mesma proporção das plantas do IPTP (Quadro 33). Essa indiferença ao estado de estresse hídrico no período de florescimento na eficiência da interceptação da radiação pela soja foi observada ser 6% por CONFALONE (1998).

Isso se deve ao fato de que essas plantas (NIFF) não sofreram deficiência de umidade durante a fase vegetativa, o que lhes permitiu iniciar a fase de florescimento com a parte aérea bem desenvolvida.

Quadro 33 - Poder de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa (PI) durante cada fase de desenvolvimento da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

Período	Poder de Interceptação da RFA (PI) - em %			
	IPTP	NIFV	NIFF	ISFV
FV	35	29	33	31
FF	91	84	92	82
FEG	84	87	86	78
CC	65	64	65	67

De acordo com o Quadro 33, na fase de enchimento de grãos as plantas de soja que foram submetidas ao estresse hídrico durante as fases vegetativa (NIFV) e de florescimento (NIFF) atingiram o final da fase de enchimento de grãos sem sofrer nenhum dano em vista da deficiência de água pela qual passaram, pois o poder de interceptação dessas plantas (NIFV e NIFF) foi superior ao daquelas que se desenvolveram sem estresse ao longo do seu ciclo (IPTP). Isso indica que até o final da FEG essas plantas conseguiram se recuperar plenamente dos efeitos dessa deficiência no seu metabolismo fisiológico.

As plantas que experimentaram deficiência de radiação no período vegetativo (ISFV) apresentaram, na fase de enchimento de grãos, ligeira diminuição no seu poder de interceptação (Quadro 33), sendo essa redução de 10% em relação ao NIFV, 7% em relação ao IPTP e 9% em relação ao NIFF.

A Figura 22 representa a variação dos percentuais de interceptação da radiação fotossinteticamente ativa incidente no topo da soja, sob os tratamentos aplicados.

Não foram observadas diferenças significativas entre tratamentos, ao nível de 1% de probabilidade, na fração da radiação fotossinteticamente ativa interceptada pela soja (Quadros 1B e 2B).

Apenas os tratamentos que não sofreram nenhum estresse durante a fase vegetativa (NIFF e IPTP) atingiram o término dessa fase interceptando valores acima de 70%. Esses valores são baixos, quando comparados com o índice de 95% determinado por CONFALONE (1998).

O ISFV e o NIFV alcançaram o final da fase vegetativa interceptando, respectivamente, 60% e 65% da radiação. A partir de 33 DAE, esses tratamentos (ISFV e NIFV) apresentaram valores de radiação interceptada inferiores aos tratamentos que foram irrigados e expostos ao nível máximo de radiação durante a fase vegetativa (IPTP e NIFF).

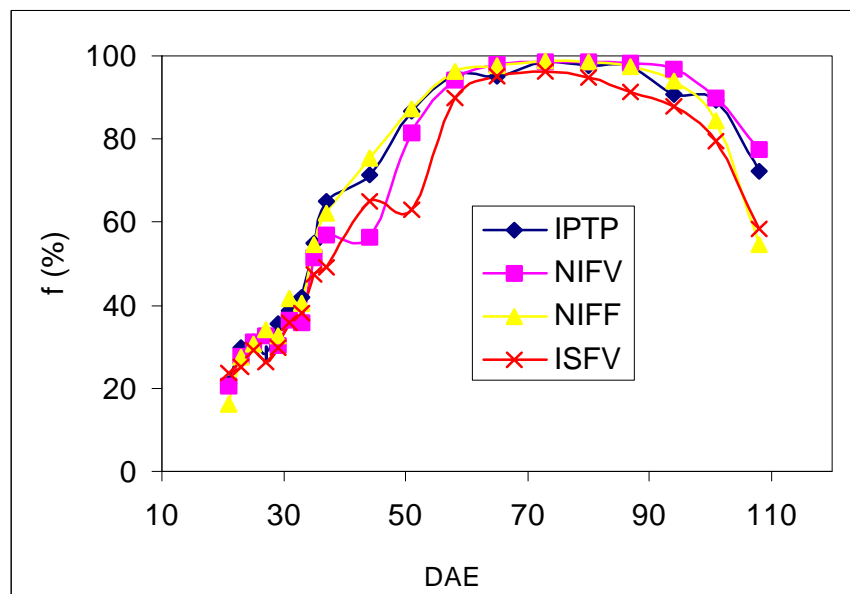


Figura 22 - Variação da fração da RFA que foi interceptada ao longo do ciclo de vida da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

Essa distinção permaneceu até os 58 DAE no NIFV, quando passou a interceptar acima de 94% da radiação. A soja sombreada permaneceu interceptando menos radiação até o final do seu ciclo de vida, sendo sua interceptação máxima de 96% e ocorrida aos 73 DAE e o índice de interceptação máxima do NIFV de 98% .

A interceptação máxima de todos os tratamentos ocorreu durante a fase de enchimento de grãos, mais precisamente a partir dos 73 DAE, ressaltando-se que o IPTP interceptou um máximo de 99% e, em seguida, apresentou declínio na sua capacidade de interceptação. O NIFF também, apresentou interceptação máxima de 99%, porém permaneceu interceptando esse valor até os 80 DAE.

A Figura 23 mostra a radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) em função do índice de área foliar, entre os tratamentos. Essa figura evidencia a necessidade que as plantas sob deficiência de luz têm para expandir suas folhas mais rapidamente, visando otimizar a interceptação.

Para os IAF entre 1,5 e 3,2 , as plantas do ISFV e do NIFV apresentaram tendência em interceptar valores de radiação semelhantes e as plantas do NIFF, os maiores valores de radiação interceptada.

Com o IAF variando entre 3,2 e 4,5, a soja do ISFV interceptou mais radiação que a dos demais tratamentos, quando, então, iniciaram a senescência.

Na Figura 23, fica bem visível que as plantas de soja que passam por deficiência de luz durante a fase vegetativa (ISFV) atingem mais rapidamente a senescência das folhas do dossel, ou seja, a redução do fluxo de radiação solar para a soja causou diminuição da longevidade de suas folhas.

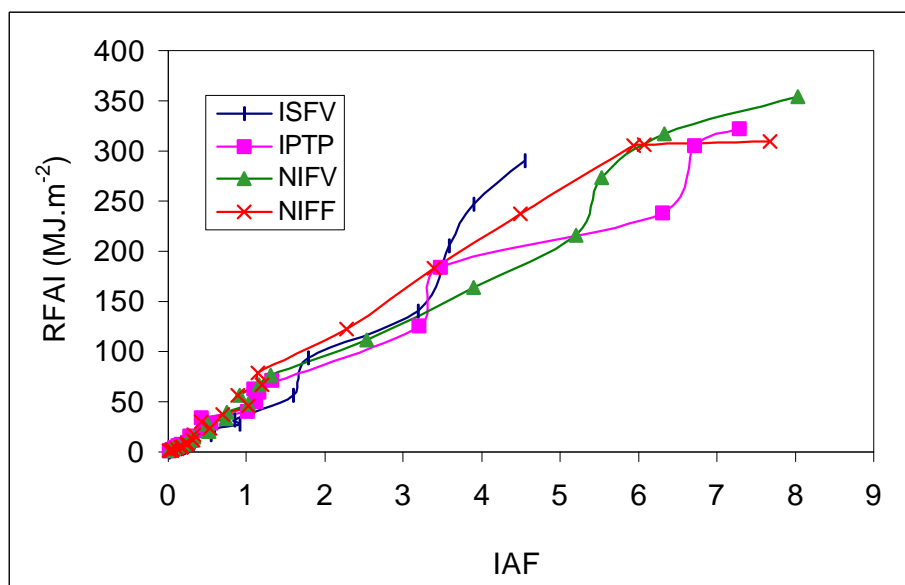


Figura 23 – Variação da radiação interceptada (RFAI) em função do índice de área foliar da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

Os demais tratamentos, permaneceram expandindo suas folhas, atingindo a senescência após os IAF serem de 8,0 no NIFV, 7,7 no NIFF e 7,3 no IPTP.

A Figura 24 ilustra os valores diários de radiação fotossinteticamente ativa interceptada ao longo do ciclo de vida da soja sob o nível máximo de radiação (IPTP) e sob a redução da radiação (ISFV).

Neste experimento, também se observou que, após a retirada do sombreamento, aos 45 DAE, a soja do ISFV passou a interceptar valores idênticos aos do IPTP. Isso reforça a tese de que essa cultura apresenta mecanismos de defesa aos baixos níveis de radiação e que, quando o fluxo de radiação é restabelecido, ela é capaz de interceptar na mesma proporção das plantas que não sofreram nenhum estresse (IPTP).

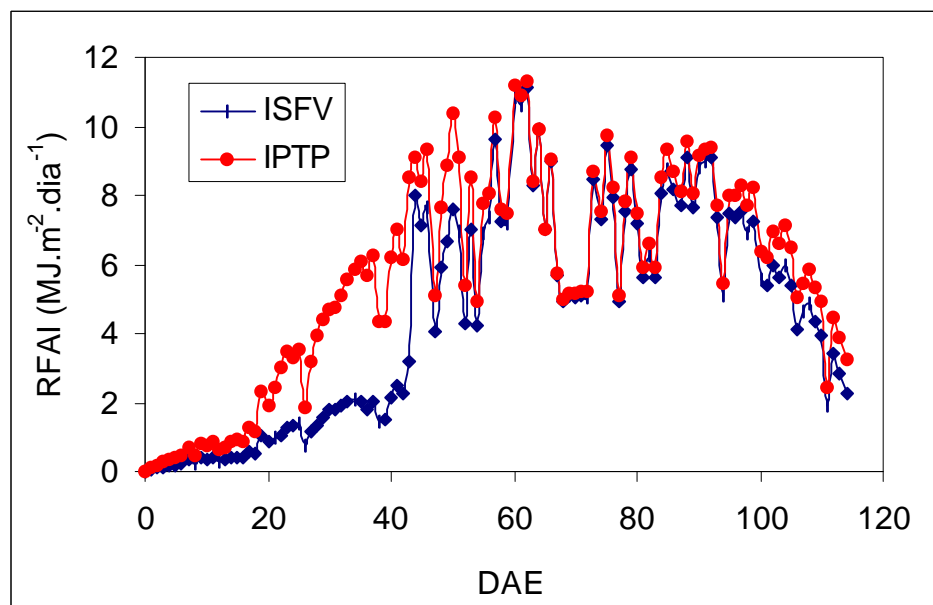


Figura 24 - Variação da RFA diária interceptada pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99 e sob os tratamentos IPTP e ISFV.

#### 5.4. Eficiência de uso da radiação (EUR) pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99

No Quadro 34 são mostrados os valores da eficiência de uso da radiação ( $\text{g.MJ}^{-1}$ ) e da matéria seca (MS) produzida pela soja,  $\text{g.m}^{-2}$ , durante as suas fases de desenvolvimento, nos quatro tratamento utilizados.

Os resultados desse quadro evidenciaram que, entre os tratamentos utilizados, a eficiência de uso da radiação (EUR), no que se refere às fases de desenvolvimento da soja, apresentaram valores de 1,12 a  $2,43 \text{ g.MJ}^{-1}$ .

Os resultados da fase vegetativa indicaram que a soja que se desenvolveu sob um nível de radiação reduzido (ISFV) durante essa fase, embora tenha apresentado diminuição na sua quantidade de radiação interceptada em 57% (Quadro 32), aumentou a sua eficiência de uso da radiação em 17%, em relação ao valor da EUR apresentado pela soja que não sofreu nenhum estresse em todo o seu ciclo de vida (IPTP), ou seja, as perdas na interceptação da radiação foram parcialmente compensadas pelo aumento na utilização da radiação.

Os valores de matéria seca produzida pelas plantas mostram que o sombreamento imposto à soja teve grande influência nos processos fisiológicos de

produção de matéria seca da cultura, uma vez que a matéria seca do ISFV foi de 92 g.m<sup>-2</sup>, contra 209 g.m<sup>-2</sup> do IPTP, ou seja, 117 g.m<sup>-2</sup> a menos, o que corresponde a um percentual de redução de 56%.

Diminuição da quantidade de matéria seca produzida por plantas que se desenvolveram à sombra também foi observada anteriormente (TRANG e GIDDENS, 1980; GILONI, 2000).

A interceptação das plantas submetidas ao estresse hídrico na fase vegetativa (NIFV) sofreu redução de 22% (Quadro 32), porém a sua EUR não teve alteração significativa (apenas de menos 6%), em relação às plantas que foram irrigadas durante todo o seu ciclo de vida (IPTP).

A redução ocasionada na matéria seca produzida durante a fase vegetativa pela soja que sofreu estresse hídrico nessa fase (NIFV) foi de 169 g.m<sup>-2</sup>, ou seja, 19% a menos do que a produzida pela soja que foi irrigada por todos o período (IPTP).

Quadro 34 – Valores da eficiência de uso da radiação (EUR, g.MJ<sup>-1</sup>) e matéria seca (MS, g.m<sup>-2</sup>) da soja em cada fase de desenvolvimento, nos diversos tratamentos a que foi submetida durante o ano agrícola 1998/99

Tratamento	FV		FF		EG	
	EUR	MS	EUR	MS	EUR	MS
IPTP	1,30	209	2,10	448	2,42	813
NIFV	1,22	169	1,60	240	1,75	510
NIFF	1,37	151	1,91	369	2,43	496
ISFV	1,57	92	1,67	326	1,12	185

Quando comparados os valores de EUR na fase vegetativa da soja que ficou sob o tratamento ISFV com a que recebeu o tratamento NIFV, os resultados evidenciaram que as plantas submetidas ao estresse de luz (sombreamento), mas que receberam água, apresentaram EUR superior em 22% à apresentada pelas plantas que não foram sombreadas, mas que sofreram estresse hídrico nessa fase (NIFV).

De acordo com os resultados apresentados por COSTA et al. (1999), a ausência de irrigação da soja durante a fase vegetativa, diminuiu em 45% a radiação interceptada, porém a cultura apresentou plasticidade, de forma que maximizou em 40% a eficiência de uso da radiação (EUR), ou seja, o poder de maximizar a EUR cresceu na mesma percentagem em que ocorreu a diminuição na capacidade de

interceptação da radiação. Portanto, quando a soja recebe um estresse hídrico na fase vegetativa, a interceptação diminui, mas a EUR aumenta. Porém, quando ela não é submetida à deficiência de água e é sombreada, também aumenta a EUR. Assim, tem-se que a capacidade das plantas de soja sob estresse hídrico não é uma consequência da menor interceptação da radiação e sim de modificações no seu metabolismo.

Neste experimento, na fase vegetativa, o poder de interceptação das plantas que se desenvolveram à sombra (ISFV) foi semelhante ao das sem qualquer tipo de estresse (IPTP) e maior do que o aquelas que se desenvolveram com deficiência de água (NIFV) (Quadro 33), mas sua EUR foi maior em 17% e 22% (Quadro 34), respectivamente.

Os valores da eficiência de uso da radiação durante a fase de florescimento, em todos os tratamentos, foram superiores aos da fase vegetativa. Entretanto, a soja que recebeu estresse hídrico nessa fase (NIFF) apresentou uma eficiência do uso da radiação superior em 13% ao valor médio ( $1,64 \text{ g.MJ}^{-1}$ ) dos tratamentos ISFV e NIFV. A diferença, na fase de florescimento, entre a EUR da soja que recebeu o tratamento NIFF e a do IPTP foi de apenas 9% a menos.

Durante a fase de enchimento de grãos, as plantas que sofreram estresse de radiação na fase vegetativa (ISFV) foram as que apresentaram menor valor da EUR, que foi de  $1,12 \text{ g.MJ}^{-1}$ , enquanto a EUR da cultura da soja que não sofreu estresse em nenhum período (IPTP) foi de  $2,42 \text{ g.MJ}^{-1}$ .

A ausência de irrigação na fase de florescimento, não causou modificações na EUR durante a fase de enchimento de grãos, porém a produção de matéria seca da soja desse tratamento (NIFF) foi inferior em 39% ao valor de MS da soja que não sofreu estresse em nenhum período (IPTP).

Na fase de enchimento de grãos, a soja sob o tratamento NIFV apresentou redução de 28% na EUR e de 37% na produção da matéria seca, em relação ao tratamento IPTP. O valor da EUR do NIFV também foi 28% menor do que a do NIFF, porém a produção de matéria seca do NIFV foi superior em  $14 \text{ g.m}^{-2}$  à do NIFF.

No Quadro 35 são mostrados os valores da eficiência de uso da radiação (EUR) e matéria seca (MS) produzida pela soja ao longo do seu ciclo de vida.

Pode-se observar, nesse quadro, que entre os tratamentos utilizados os valores de eficiência de uso da radiação ao longo do ciclo de vida da soja (CC) variaram de 1,16 a 2,35 g.MJ<sup>-1</sup>.

A EUR pela soja que não sofreu qualquer estresse durante o seu desenvolvimento (IPTP), foi de 2,34 g.MJ<sup>-1</sup>, representando 15% a mais do valor médio encontrado por CONFALONE (1998), nessa mesma localidade. Esse aumento indica que as condições climáticas do ano agrícola 1998/99 foram mais favoráveis ao aproveitamento da radiação solar pela soja do que o ano agrícola 1995/96.

Observa-se, no Quadro 35, que a soja submetida ao estresse hídrico durante a fase de florescimento (NIFF) não apresentou alterações na EUR ao longo ciclo da cultura, uma vez que seu valor praticamente se igualou ao da EUR da soja desenvolvida sem estresse hídrico (IPTP). Essa semelhança no valor final da EUR do tratamento NIFF pode ser justificada pelo fato de que a RFA interceptada por essas plantas também foi semelhante ao valor de radiação interceptada pelo IPTP (Quadro 32). Entretanto, observou-se que, apesar dessa semelhança na capacidade de interceptação e conversão de radiação, o estresse hídrico na fase de florescimento ocasionou uma redução de 25% da matéria seca final da soja, em relação à soja do tratamento IPTP (Quadro 35).

Esse decréscimo na matéria seca final do tratamento NFF foi em vista da penalização que essas plantas passaram durante a fase de enchimento de grãos, em que a MS deste tratamento foi 39% menor do que a do IPTP (Quadro 34). Essa penalização na FEG, por sua vez, pode ter sido induzida em razão de algum ajuste que essas plantas realizaram durante o período (FF) em que estavam estressadas. Tal ajuste ocasionou modificações no custo de produção dos lipídeos e proteínas que compõem a matéria seca da fase reprodutiva da soja.

Os estresses de radiação (ISFV) e de água (NIFV), os quais a soja foi submetida durante a fase vegetativa, repercutiram no valor final da EUR pela soja, de modo que o sombrito ocasionou diminuição de 50% na EUR, e a ausência da irrigação diminuiu em 26% a EUR do ciclo de vida da soja (Quadro 35).

Aqui vale ressaltar que, quando se comparam os valores de RFAI ao longo do ciclo da soja sob esses tratamentos com a do IPTP, observa-se uma redução de 20% na capacidade final de interceptação da radiação para a soja com sombreamento é de apenas 3%, na soja sem irrigação, na fase vegetativa (Quadro 32). No que se

refere à produção final de matéria seca, o sombreamento reduziu em 59% e o estresse hídrico, 37%.

Quadro 35 - Valores da eficiência de uso da radiação (EUR) e matéria seca (MS) produzida pela soja durante o seu ciclo de vida nos diversos tratamentos a que foi submetida durante o ano agrícola 1998/99

Tratamento	Ciclo Completo	
	EUR (g.MJ <sup>-1</sup> )	MS (g.m <sup>-2</sup> )
IPTP	2,34	1.471
NIFV	1,72	920
NIFF	2,35	1.103
ISFV	1,16	603

### 5.5. Análise do índice de área foliar (IAF) da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

A Figura 25 ilustra a variação no índice de área foliar (IAF) nos diferentes tratamentos considerados neste trabalho.

A 1% de probabilidade, não se determinaram diferenças significativas no índice de área foliar (IAF) dos tratamentos aplicados à soja (Quadros 3B e 4B).

No início do ciclo, as diferenças entre efeitos de tratamentos foram menores, em comparação com outros pontos em que a soja se encontrava em estágio mais desenvolvido. Essas acentuadas diferenças foram mais notadamente observadas a partir de 25 DAE, em todos os tratamentos.

A soja que sofreu sombreamento teve um grande atraso em atingir o fechamento do dossel, representado pelo valor de índice de área foliar 3. Esse atraso ficou representado por uma defasagem de 11 DAE, uma vez que o ISFV só atingiu o IAF de 3 aos 57 DAE, ao passo que os demais tratamentos atingiram esse valor de IAF em torno dos 46 DAE.

Os maiores efeitos do sombreamento no IAF puderam ser observados a partir dos 30 DAE, quando os IAF se tornaram significativamente inferiores aos valores dos demais tratamentos. Entretanto, pela Figura 24, tem-se que nesse período, ou seja, após a retirada do sombreamento, a soja passou a interceptar a RFA em quantidades bem próximas da RFAI do IPTP.

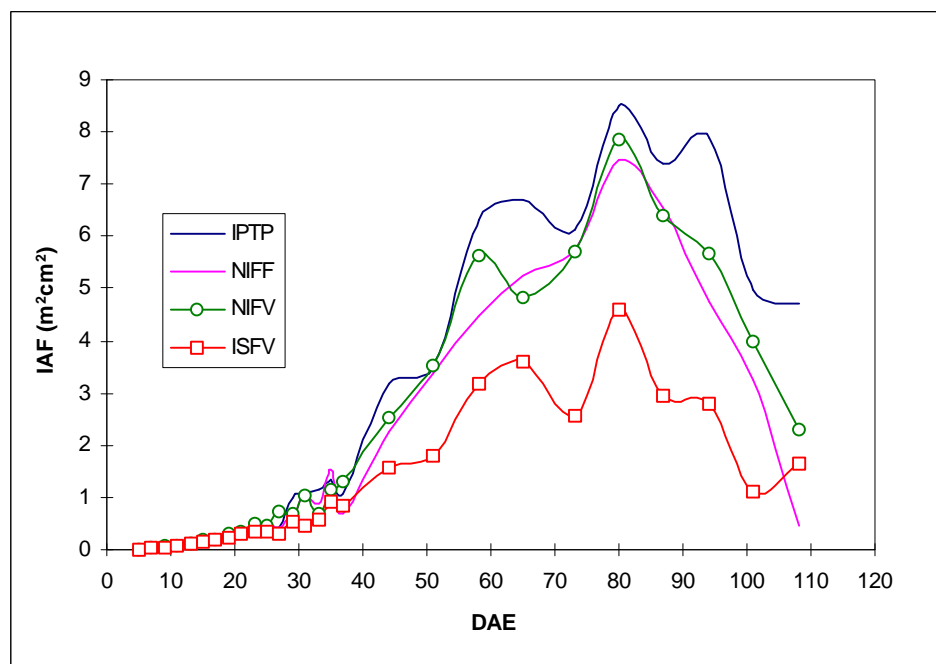


Figura 25 – Variação do índice de área foliar (IAF) ao longo do ciclo de vida da soja nos diversos tratamentos a que foi submetida no ano agrícola 1998/99.

Essa constatação reforça a presença de mecanismos de plasticidade apresentados pela soja para contornar o baixo fluxo de radiação, pois, quando restabelecido o nível normal de radiação, a soja do ISFV passou a interceptar na mesma proporção do IPTP.

No fim da fase vegetativa, a soja que recebeu estresse de radiação apresentava um valor de IAF em torno de 1,65, enquanto os tratamentos IPTP e NIFV alcançaram, cada um, 2,9 e NIFF 2,6. Antes que a cultura tenha alcançado um pronto estabelecimento no campo, o IAF foi bem pequeno, e durante a fase vegetativa o aumento ocorreu de forma lenta e linear até alcançar um valor máximo.

Todos os tratamentos alcançaram um IAF máximo durante o período de enchimento de grãos, para ser mais preciso aos 78 DAE. Esses valores máximos foram de 8,5; 8,0; e 7,7, respectivamente, alcançados pelos tratamentos IPTP, NIFV e NIFF. O valor máximo do IAF do ISFV foi de 4,5, ou seja, o sombreamento ocasionou uma redução de 47% no índice de área foliar máximo da soja.

## 5.6. Análise da área foliar específica (AFE) da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

Na Figura 26 apresentam-se a variação da AFE ao longo do ciclo de vida da cultura, em todos os tratamentos. Nessa figura, tem-se que os perfis da AFE de todos os tratamentos indicam que as folhas das plantas de soja se caracterizaram por apresentar tendência de acumular, ao longo tempo, maior quantidade de massa por unidade de área, ou seja, com o decorrer do tempo as folhas da soja apresentavam-se menores, porém mais grossas. Dessa forma, pode-se observar que as folhas que foram emitidas no início do ciclo apresentaram tendência de possuírem menos massa por unidade de área, ou seja, exibiam maior superfície de assimilação no início do ciclo.

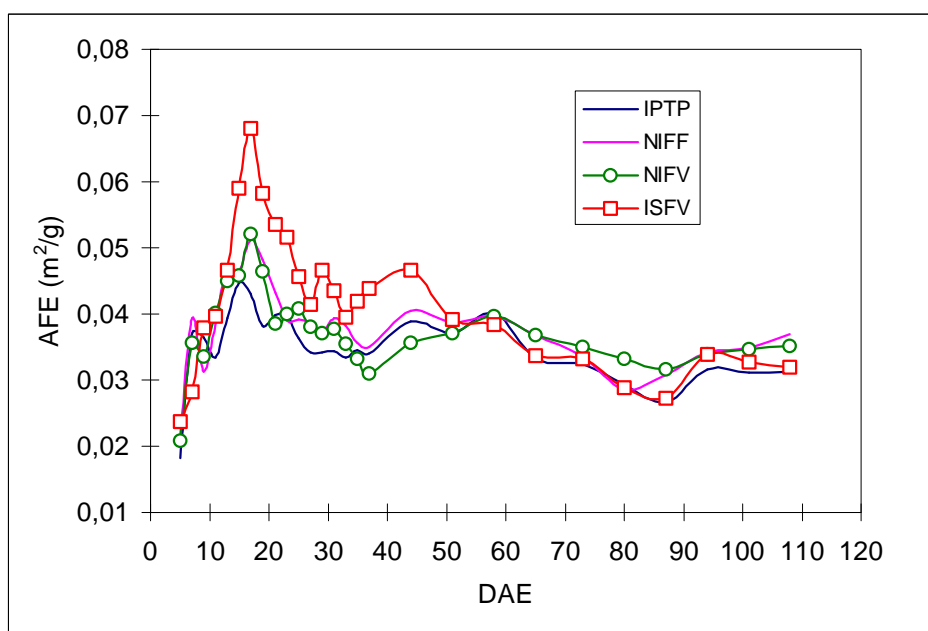


Figura 26 – Variação da área foliar específica (AFE) ao longo do ciclo da soja nos tratamentos a que foi submetida no ano agrícola 1998/99.

O efeito do sombreamento da soja durante a fase vegetativa pode ser observado pelos maiores valores da AFE durante essa fase, apresentados neste tratamento. Esses altos valores indicam que a AFE é uma característica da soja de grande plasticidade. O aumento na área da lâmina foliar demonstra capacidade, das plantas sombreadas em se autoajustarem, visando maximizar a

captura de radiação disponível. Resultados semelhantes foram obtidos por MELGES (1983), quando observou que, à medida que a radiação solar era reduzida, os valores da AFE da soja tornavam-se mais elevados. A maximização na captura da radiação se deve a um aumento na superfície foliar. Esse aumento foliar é causado por uma maior concentração de células do mesófilo por unidade de área, que por sua vez favorece a maior assimilação de CO<sub>2</sub>, e, conseqüentemente, a taxa fotossintética das plantas fica beneficiada.

Após os 51 DAE, a AFE da soja sombreada passou a ter valores próxima aos dos demais tratamentos. A partir desse momento, os valores da AFE, em todos os tratamentos, indicaram que, à medida que o crescimento das plantas progredia, as folhas não se expandiam às mesmas taxas.

Os valores de AFE do NIFV e do NIFF até os 11 DAE foram próximos dos valores do IPTP. Após esse período, a AFE do NIFV e do NIFF tornou-se maior que a do IPTP e permaneceu assim, até aos 33 DAE.

### **5.7. Matéria seca total (MS) e partição de matéria seca para os órgãos das plantas de soja**

A Figura 27, mostra a variação da matéria seca, por unidade de área cultivada, em função do número de dias após a emergência (DAE) das plantas, nos quatro tratamentos.

Não houve diferença significativa a 1% de probabilidade na matéria seca total produzida pela soja sob os tratamentos, aos quais a soja foi submetida (Quadros 5B e 6B).

Independentemente do tratamento, o crescimento inicial da soja, até os 35 DAE, ocorreu de forma lenta, com baixo acúmulo de matéria seca.

Em seguida, da floração até o início da fase de enchimento de grãos, as curvas indicam que o crescimento foi mais acelerado. Nesse período, a ordem de crescimento, do maior para o menor, foi seguida pelos tratamentos IPTP, NIFV, NIFF e ISFV. Por fim, durante a fase de enchimento de grãos, o acréscimo na matéria seca tornou-se muito lento, e as curvas de matéria, em cada tratamento, tenderam a atingir um valor máximo.

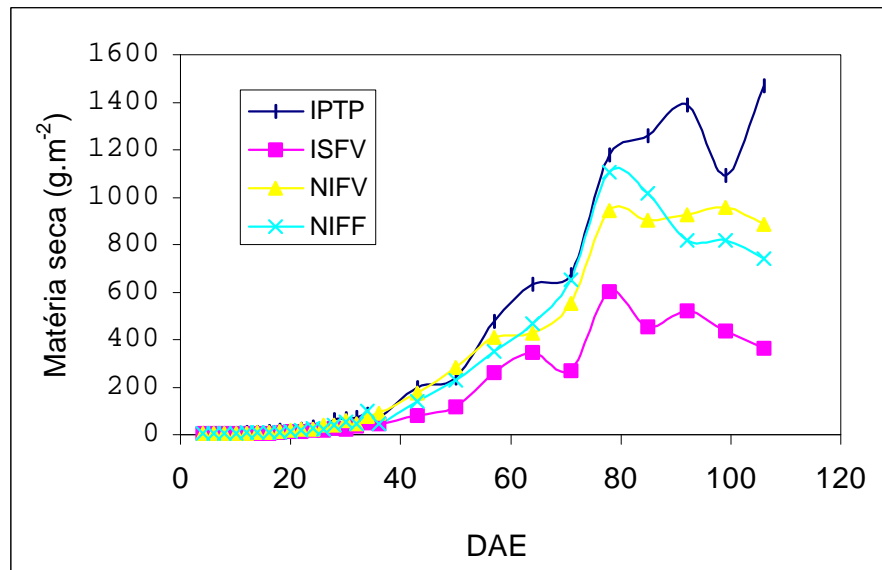


Figura 27 – Variação da matéria seca total produzida pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

Em geral, as diferenças de matéria seca entre os tratamentos NIFV e NIFF foram pequenas desde o início até o fim do ciclo de vida da soja. Houve maior diferença entre a matéria seca produzida pelas plantas do IPTP e ISFV, com a ressalva de que o primeiro se distingue por apresentar uma superioridade nos valores de matéria seca produzida e o ISFV por apresentar valores de matéria seca inferiores aos apresentados pelas plantas dos demais tratamentos.

Na Figura 28, mostram-se a distribuição percentual de matéria seca para as raízes da soja, em função dos dias após a emergência.

Não foram observadas diferenças significativas, a 1%, entre tratamentos na partição de matéria seca para a raiz (Quadros 7B e 8B).

Nessa parte da planta, observou-se uma tendência similar na distribuição de matéria seca, entre os tratamentos IPTP, NIFF e ISFV, no período de 4 a 35 DAE. Nesse mesmo período, as plantas que ficaram sob estresse hídrico na fase vegetativa (NIFV) apresentaram menores valores percentuais da matéria seca para raiz. O valor médio de matéria seca alocada para a raiz nesse período foi de 20% para IPTP e ISFV e 19% e 18% para o NIFF e NIFV, respectivamente. A partir de 35 DAE, de toda a matéria seca produzida pelas plantas do ISFV, 13% foi drenada para a raiz,

enquanto as plantas dos demais tratamentos alocaram no máximo 10% da sua produção de matéria seca para a raiz. Em termos gerais, o valor médio da matéria seca da raiz foi de 18% no ISFV e em torno de 15% nos demais tratamentos.

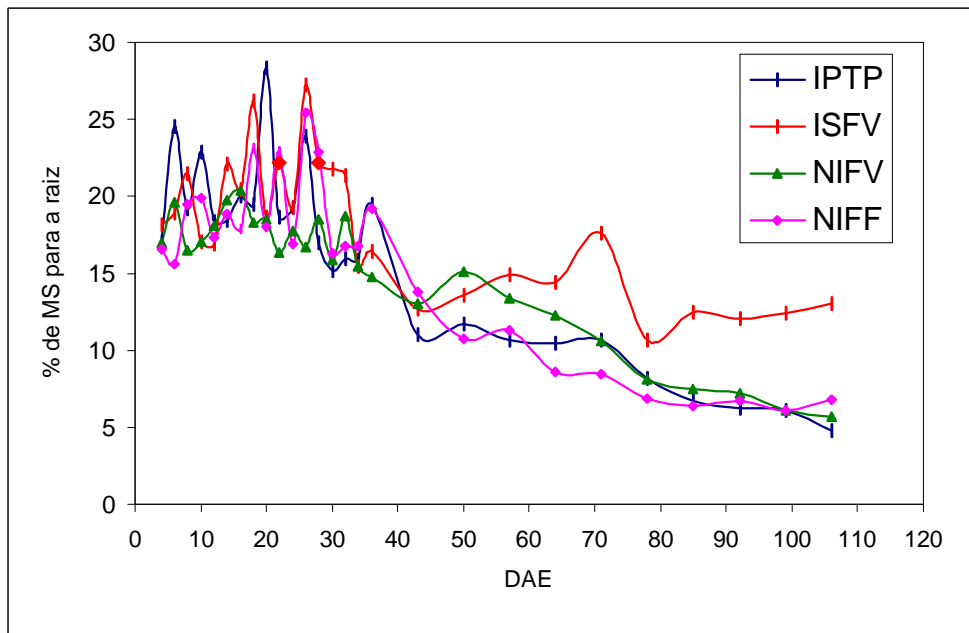


Figura 28 - Partição de matéria seca para as raízes da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

Na Figura 29, mostram-se a variação da partição de matéria seca, ao longo do ciclo de vida da soja para o caule.

Não houve diferenças significativas entre tratamentos, ao nível de 1% de probabilidade, quanto à matéria seca particionada para o caule (Quadros 9B e 10B).

Durante todo o ciclo de vida da cultura os percentuais de matéria seca destinados a essa parte da planta foram idênticos. De modo geral, a configuração das curvas dos percentuais de matéria seca para o caule é simétrica. Assim, observou-se que, desde o início até a metade do ciclo de vida da cultura, os percentuais recebidos por esse órgão eram crescentes, variando de 20% a 55%, e a partir de então começaram a decrescer.

As Figuras 30, 31 e 32 ilustram, respectivamente, a variação dos percentuais de partição de matéria seca para os cotilédones, para as folhas e para as flores.

A partição de MS para esses órgãos das plantas de soja não apresentou diferenças entre os tratamentos (Quadros 11B a 16B).

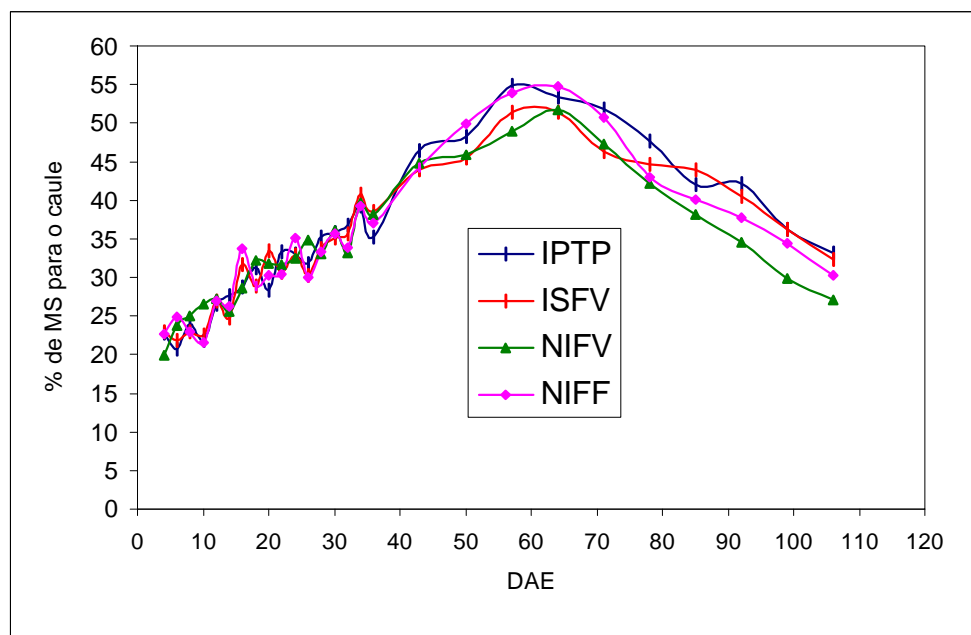


Figura 29 – Partição de matéria seca para o caule da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

Pode-se observar que, a partir de quatro DAE, os percentuais de matéria seca nos cotilédones (Figura 30) foram próximos de 40% e, nas folhas, em torno de 25% (Figura 31). Ao longo do crescimento, os percentuais nas folhas foram crescentes e nos cotilédones, decrescentes, de tal forma que, quando as plantas tinham idade em torno de 15 DAE, os cotilédones deixaram de existir e as folhas continuaram com percentuais crescentes até aproximadamente 35 DAE, época em que as flores começaram a ser emitidas (Figura 32). Os percentuais de matéria seca recebidos pelas flores atingiram no máximo 2,5% do peso total das plantas. As folhas apresentaram percentuais máximos, dependendo do tratamento, os quais variaram entre 45% e 50%.

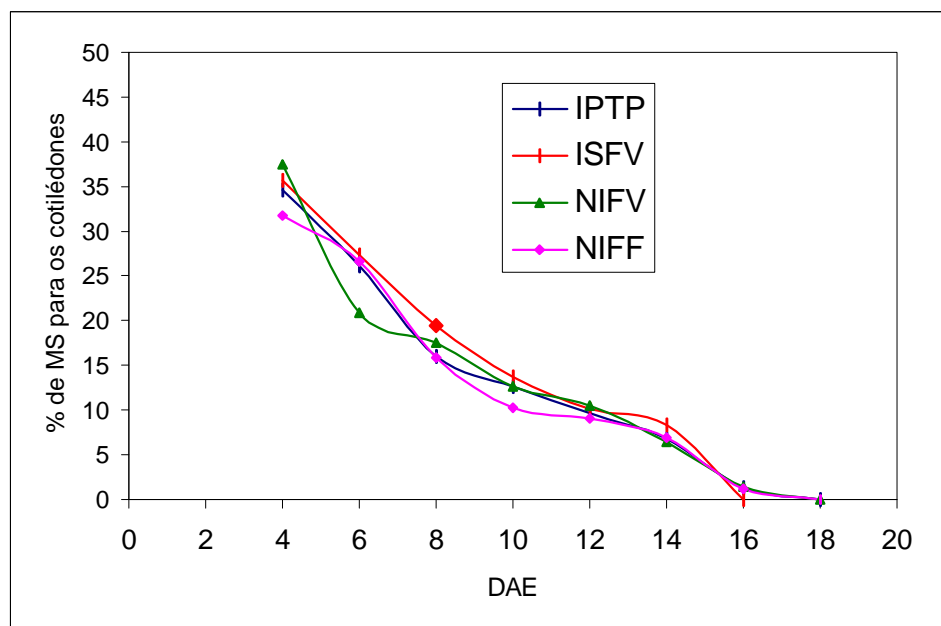


Figura 30 – Partição de matéria seca para os cotilédones da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

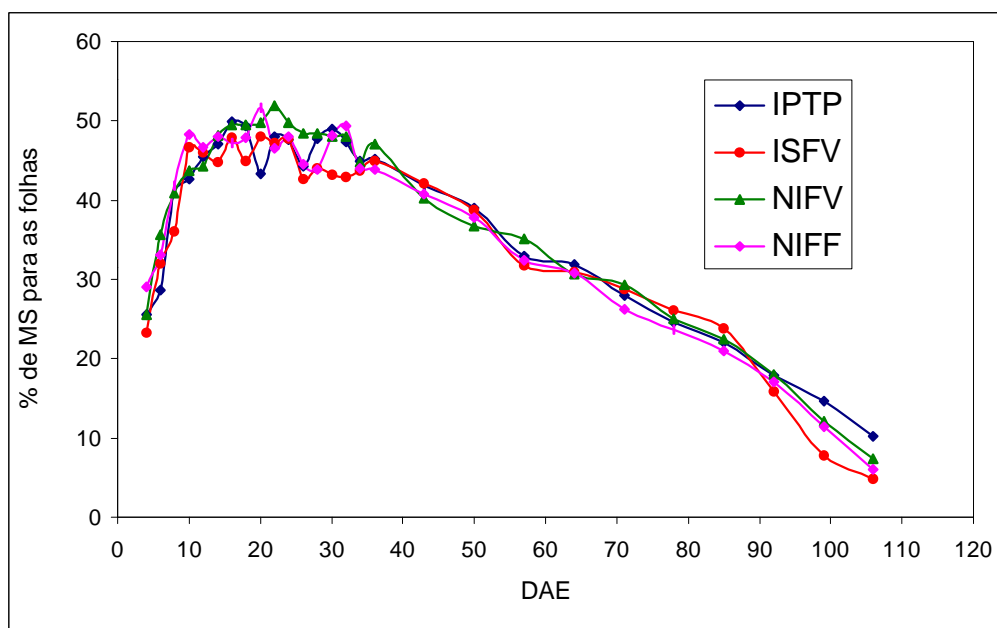


Figura 31 – Partição de matéria seca para as folhas da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

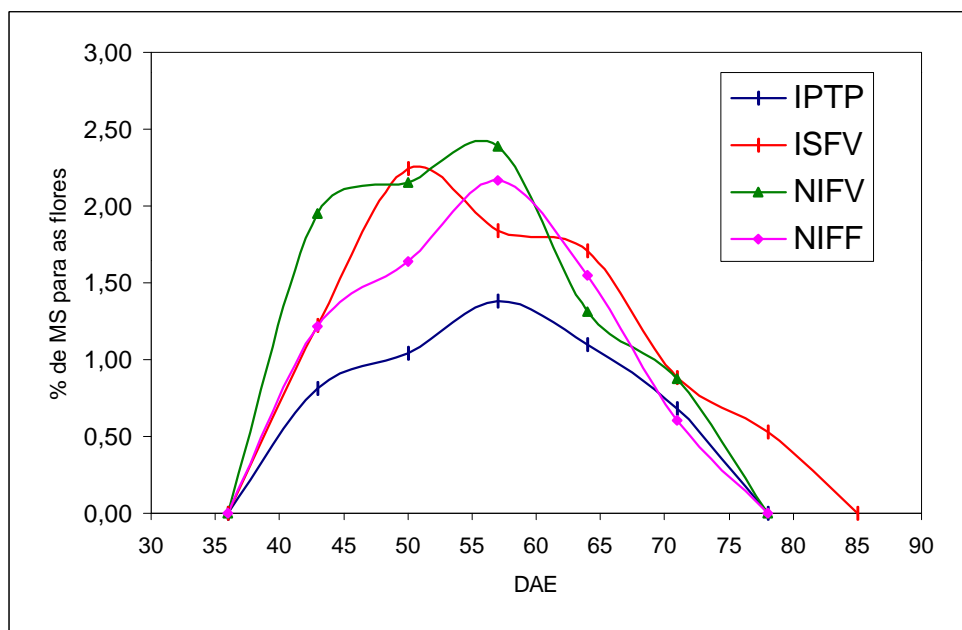


Figura 32 - Partição de matéria seca para as flores da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

Nas Figuras 33 e 34m mostram-se, respectivamente, a variação dos percentuais de matéria seca recebidos pelas vagens e grãos, em cada tratamento.

A partição de MS para as vagens e os grãos das plantas de soja não apresentaram diferenças entre os tratamentos (Quadros 17B a 20B).

Os percentuais de matéria seca nas vagens, ao longo do crescimento da soja, apresentou duas fases distintas. A primeira ocorreu entre 60 e 75 DAE, com os percentuais crescendo linearmente e a segunda, com valores aproximadamente constantes em cada tratamento (Figura 33). Em ambas as fases, os tratamentos NIFV e NIFF receberam os maiores percentuais. As plantas do IPTP e ISFV apresentaram os menores valores de percentuais, enquanto na segunda fase o ISFV exibiu valores crescentes, de forma que foram semelhantes aos do NIFV e NIFF, enquanto o IPTP permaneceu com valores inferiores.

Em todos os tratamentos, os maiores percentuais de matéria seca nos grãos foram das plantas do NIFV, seguido do NIFV, IPTP e ISFV (Figura 34). Após 75 DAE, os percentuais nos grãos das plantas sombreadas foram bem inferiores aos dos demais tratamentos.

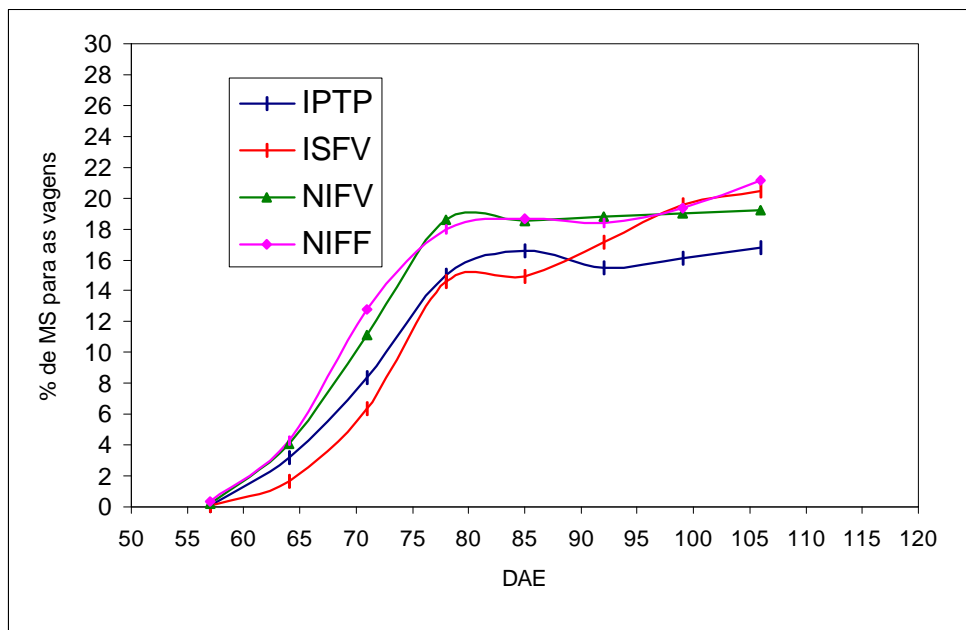


Figura 33 – Partição de matéria seca para as vagens da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

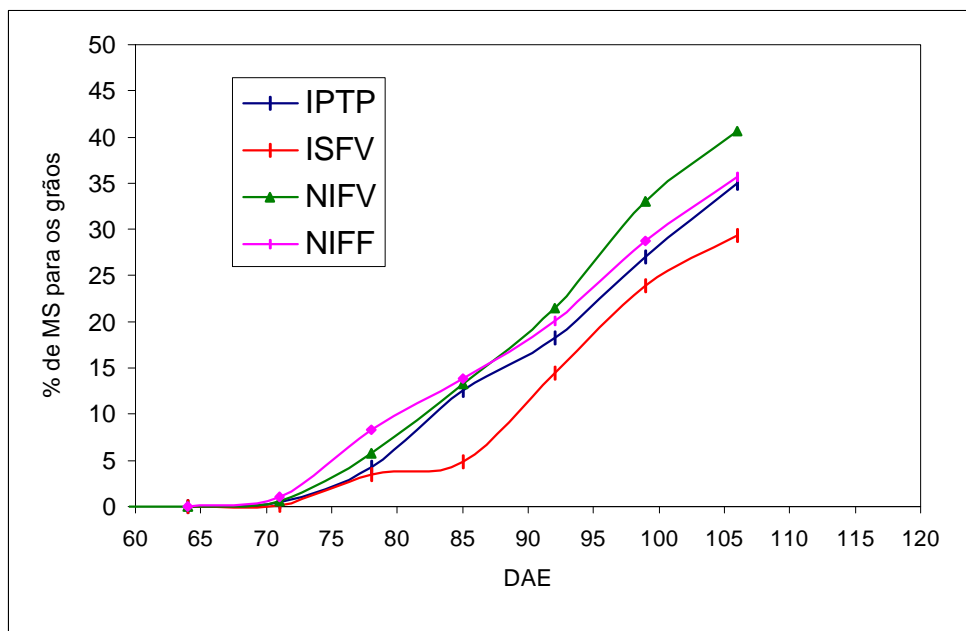


Figura 34 - Partição de matéria seca para os grãos da soja cultivada no ano agrícola 1998/99.

A distribuição da matéria seca nas diversas partes das plantas de soja, (Figuras 28 a 34), em determinados períodos ao longo do ciclo de vida da soja, apresentou um comportamento similar na distribuição para os quatro tratamentos analisados. Porém, mesmo verificando essa semelhança na distribuição de matéria seca para os componentes físicos da soja, verificaram-se mudanças do dreno metabólico preferencial de um órgão para outro, ocasionadas pelo efeito dos tratamentos.

Do início até aproximadamente 35 DAE, observou-se a existência de uma seqüência na distribuição de matéria seca, em que inicialmente, as raízes (Figura 28) e as folhas (Figura 31) formavam os drenos metabólicos com maior preferenciais. Após algum crescimento, ocorreu mudança para o caule (Figura 29). Aos 60 DAE, quando o caule atingiu um valor máximo, as plantas iniciaram a formação de grãos (Figura 34), com a conseqüente mudança do dreno metabólico preferencial para esse órgão da soja.

### **5.8. Eficiência de uso da água (EUA) pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99**

O Quadro 36 apresenta os valores de eficiência de uso da água (EUA) pela soja, nos distintos tratamentos aplicados a cultura da soja.

Observa-se, nesse quadro, variação entre as fases, bem como entre os tratamentos, na eficiência de uso da água (EUA) na cultura da soja.

Na fase vegetativa, a soja que foi irrigada na fase de florescimento (NIFF) apresentou melhor capacidade de uso da água, com um valor de EUA de 38% acima do apresentado pela soja que foi irrigada em todos os períodos (IPTP). A EUA da soja foi altamente sensível ao sombreamento, uma vez, que a cultura exposta à redução da radiação durante essa fase (ISFV) apresentou redução de 59% em relação ao IPTP, 56% em relação ao IPTP e 73% em relação ao NIFF.

Na fase de florescimento, a maior capacidade de eficiência de uso da água foi observada no IPTP, com  $2,85 \text{ kg.mm}^{-1}$  e, em seguida no NIFF, com  $2,41 \text{ g.mm}^{-1}$ . Os efeitos do sombreamento imposto à cultura na fase vegetativa foram relativamente bem compensados na fase de florescimento, uma vez que a soja sombreada apresentou EUA de  $2,07 \text{ kg.mm}^{-1}$ , ou seja, uma redução de 27%, em relação ao IPTP. Em relação a sua EUA na fase anterior, as plantas sombreadas aumentaram-na em 87% na FF.

Na fase de enchimento de grãos, observou-se uma significativa queda da eficiência de uso da água da soja que foi sombreada, ou seja, 0,44 kg.mm<sup>-1</sup>. Outro resultado importante, é fato da EUA do NIFV e NIFF terem apresentado valores bem próximos durante essa fase.

Quadro 36 – Eficiência de uso da água (Kg de MS.mm<sup>-1</sup> de H<sub>2</sub>O) pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>FV</b>	<b>FF</b>	<b>FEG</b>
IPTP	0,62	2,85	1,92
NIFV	0,93	1,71	1,23
NIFF	1,00	2,41	1,25
ISFV	0,27	2,07	0,44

### 5.9. Produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

O rendimento de grãos pela soja, em todos os tratamentos, estão apresentados no Quadro 37. Embora não tenha existido diferenças significativas entre os tratamentos (Quadros 21B e 22B), a maior redução na produtividade foi observada na soja cultivada sob sombreamento na fase vegetativa (ISFV), apresentando uma queda de 39% , em relação ao IPTP.

Neste experimento, ao contrário do outro (1997/98), a soja que não foi irrigada durante a fase vegetativa (NIFV) apresentou queda de 14% na produtividade em relação à cultura que não sofreu nenhum estresse ao longo do seu ciclo (IPTP). Neste experimento, também não houve grandes diferenças no valor da RFAI pelo NIFV, e o índice de colheita (Figura 34) foi maior. Portanto neste caso, o fator determinante da produtividade das plantas sombreadas foi o índice de colheita.

Quadro 37 – Produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1998/1999

<b>Tratamentos</b>	<b>Produtividade (ton.ha<sup>-1</sup>)</b>
IPTP	4,4
NIFV	3,8
NIFF	3,5
ISFV	2,7

## 6. ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS DOIS EXPERIMENTOS

### 6.1. Condições meteorológicas

No Quadro 38, mostram-se os valores médios de temperatura e radiação global e os valores acumulados da precipitação em cada fase de desenvolvimento, nos dois experimentos.

A análise das elementos meteorológicos indicou que apenas a precipitação nos dois anos de plantio apresentaram ligeira diferença em termos de distribuição e quantidade. No ano agrícola 1998/99, logo após o plantio foi observado um período de sete dias com total ausência de chuvas, tendo como consequência o atraso na germinação, enquanto no ano agrícola 1997/98 a rápida germinação das sementes foi favorecida pela presença de chuvas.

Quadro 38 - Valores médios da temperatura, radiação global e precipitação acumulada, ocorridos durante os dois experimentos

Elementos Meteorológicos	1997/98			1998/99		
	FV	FF	FEG	FV	FF	FEG
Temperatura (°C)	23,7	23,8	23,5	23,1	23,1	23,0
Radiação global (MJ.m <sup>-2</sup> )	17,3	15,9	16,2	17,4	18,5	15,9
Precipitação acumul. (mm)	253,2	174,2	102,0	285,7	83,8	324,4

No agrícola 1997/98, a precipitação total, ao longo do ciclo de vida da soja, foi de 529,4 mm (Quadro 38), com valor médio de 4,9 mm (Quadro 11), enquanto no ano agrícola 1998/99 choveram 694,0 mm (Quadro 38), resultando num valor médio do período de 5,4 mm (Quadro 27).

A precipitação total ocorrida na fase vegetativa nos dois anos analisados foi semelhante, ressaltando-se que no ano agrícola de 1997/98 choveram menos 32,5 mm em relação ao outro ano. Na fase de florescimento, a precipitação ocorrida no ano agrícola 1997/98 (174,2 mm) foi 52% acima do valor da precipitação do ano agrícola 1998/99 (83,3 mm). Na fase de enchimento de grãos, a precipitação (324,4 mm) do segundo experimento (1998/99) foi superior em 69% a precipitação (102,0 mm) do experimento anterior (1997/98). Os elementos irradiância solar global e temperatura do ar dos dois anos apresentaram valores médios semelhantes nas fases de desenvolvimento da soja.

## **6.2. Estádios de desenvolvimento da soja**

O tempo transcorrido entre a data do plantio e a germinação da soja semeada no ano agrícola 1997/98 foi de cinco dias enquanto as sementes do segundo experimento (1998/99) só germinaram após terem transcorridos 11 dias . Essa grande diferença entre os tempos de germinação da soja, foi consequência da ausência de chuva e irrigação observados neste ano experimental. Nos Quadros 14 e 30, mostra-se que a duração das fases do segundo ano agrícola (1998/99) foram mais longas do que as do primeiro (1997/98).

## **6.3. Radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFA) nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99**

Pelos Quadros 15 e 31, tem-se que a RFA incidente em cada fase de desenvolvimento da soja em cada tratamento variou entre experimentos.

No primeiro experimento, a RFA (Quadro 15) ao longo do ciclo de vida da soja variou de 856 (IPTP) a 559 MJ.m<sup>-2</sup> (ISFV), enquanto no segundo experimento (Quadro 31) essa variação foi entre 1.003 (IPTP) e 781 MJ.m<sup>-2</sup> (ISFV). Na fase vegetativa da soja, o tratamento ISFV teve 197 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 15); e no segundo

experimento, 203 MJ.m<sup>-2</sup> (Quadro 31). Nos períodos de florescimento e de enchimento de grãos, os valores da RFA incidente, em todos os tratamentos, diferiram de ano para o outro, com o segundo apresentando maiores valores.

#### **6.4. Radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAI) nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99**

Em ambos os experimentos, a soja que foi sombreada não sofreu modificações na sua capacidade de interceptação da radiação solar (Quadros 17 e 33). No ano agrícola 1997/98 o poder de interceptação da radiação pela soja sombreada foi de 55%, durante a fase vegetativa, enquanto o tratamento que não sofreu nenhum estresse (IPTP) interceptou 52% da RFA incidente (Quadro 17). No segundo experimento (1998/99), o PI da soja sombreada (ISFV) foi de 31% e o da soja que ficou exposta ao nível normal de irradiância solar (IPTP), 35% (Quadro 33)

De modo geral, a soja de todos os tratamentos apresentou, na fase vegetativa, valores diferenciados da capacidade de interceptação de um ano para outro. No primeiro experimento (1997/98), o PI da soja que ficou sob o tratamento NIFV foi de 52% (Quadro 17) ao passo que no segundo experimento esse valor foi de 29% (Quadro 33). A soja que recebeu água durante a fase vegetativa (IPTP e NIFF) apresentou, para esta fase, um valor médio de 50% no primeiro experimento e, de 33% no segundo. Os valores do PI da RFA das demais fases de todos os tratamentos podem ser considerados semelhantes de um ano para outro.

#### **6.5. Eficiência de uso da radiação (EUR) nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99**

A eficiência do uso da radiação, em ambos os experimentos, na fase vegetativa foi superior nas plantas de soja que se desenvolveram com nível de radiação menor, em relação às que não foram submetidas a nenhum tipo de estresse (IPTP). Esse aumento apresentado na EUR pelas plantas de soja sombreadas foi, em ambos os experimentos, superior a 15% (Quadros 18 e 34).

As plantas que ficaram sem receber água durante a fase vegetativa apresentaram, no ano agrícola 1997/98, valor de EUR de 0,75 g.MJ<sup>-1</sup>, porém no outro plantio esse valor subiu para 1,22 g.MJ<sup>-1</sup>.

A EUR das plantas que ficaram sob estresse hídrico na fase vegetativa (NIFV) apresentou um valor de  $1,36 \text{ g.MJ}^{-1}$  no primeiro ano e de  $1,99 \text{ g.MJ}^{-1}$  no segundo .

No primeiro experimento (1997/98), o tratamento NIFV, na fase vegetativa, apresentou resultados contrários aos esperados. O valor da RFAI foi semelhante ao do IPTP e a EUR foi bem menor. No segundo experimento, os resultados quanto a RFAI foi de acordo com o esperado, ou seja, houve redução de 22% na RFAI, mas, embora a EUR tenha sido um pouco maior em relação ao valor encontrado no primeiro experimento, não foi superior à do tratamento IPTP.

### **6.6. Matéria seca e partição de fotoassimilados**

Em ambos os experimentos, o acúmulo de matéria seca pela soja, ao longo do tempo, deu-se de forma similar, sendo caracterizado pela ocorrência de três fases sucessivas. Foi observada, em ambos os anos, uma considerável redução na MS das plantas sombreadas.

Quanto à partição de matéria seca para os diversos órgãos das plantas, nos dois experimentos o acúmulo de fotoassimilados em determinadas partes das plantas se deu de forma seqüencial e de acordo com as necessidades das mesmas em realizar transformações morfológicas, em decorrência do tipo de tratamento que receberam.

### **6.7. Eficiência do uso da água nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99**

Foi observado que as plantas sombreadas do primeiro experimento (1997/98) apresentaram, na fase vegetativa, melhor eficiência do uso da água em 40%, em relação à do segundo (Quadros 20 e 36).

As plantas de soja do segundo experimento e que receberam estresse de água na fase vegetativa apresentaram, nessa fase, valor da EUA ( $0,93 \text{ kg.mm}^{-1}$ ) menor em 64% do que a EUA do primeiro experimento ( $2,56 \text{ kg.mm}^{-1}$ ).

Na fase de florescimento, a EUA das plantas de soja que não foram irrigadas durante essa fase (NIFF), no primeiro experimento ( $4,30 \text{ kg.mm}^{-1}$ ), foi 44% maior do que a EUA do segundo ( $2,41 \text{ kg.mm}^{-1}$ ).

## 6.8. Produtividade da soja nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99

Em ambos os experimentos, o sombreamento provocou a menor produtividade da soja, com a ressalva de que tanto no ano agrícola 1997/98 e tanto no ano 1998/99, a soja sombreada produziu  $2,7 \text{ ton.ha}^{-1}$ . A redução na produtividade da soja, em consequência do baixo nível de luz, foi de 27% no primeiro ano e de 39% no segundo, em relação às produtividades dos respectivos experimentos das plantas que não receberam nenhum estresse (IPTP).

No tratamento NIFV, no ano 1997/98 a EUR foi menor, porém a RFAI não foi alterada e o índice de colheita (IC) foi ligeiramente menor. Essas combinações não alteraram a produtividade ( $3,7 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) da soja do NIFV, enquanto no segundo ano a EUR foi maior, a RFAI foi reduzida e o IC foi maior, mas a produtividade foi maior ( $3,8 \text{ ton.ha}^{-1}$ ).

Ao comparar as produtividades entre os tratamentos que receberam estresse de água ( $3,7$  e  $3,8 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) e de luz ( $2,7 \text{ ton.ha}^{-1}$  em ambos os anos agrícolas), tem-se que as diferenças nos dois experimentos foi em torno de 27% desfavorável às plantas que se desenvolveram sob baixo fluxo de radiação solar.

A soja que não recebeu água durante a fase vegetativa (NIFV) apresentou, no primeiro ano, produtividade ( $3,7 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) igual à das plantas que cresceram irrigadas durante todo o período e sem estresse de nível de luz (IPTP). No segundo experimento, essas plantas apresentaram uma produtividade ( $3,8 \text{ ton.ha}^{-1}$ ) inferior, em torno de 13%, em relação à do tratamento IPTP ( $4,4 \text{ ton.ha}^{-1}$ ).

As plantas de soja que não foram irrigadas durante a fase de florescimento (NIFF) sofreram no primeiro experimento redução, em relação à produtividade do IPTP, de 19% e de 20% no segundo experimento.

## 7. RESUMO E CONCLUSÕES

Para o presente trabalho, foram conduzidos dois experimentos de campo, nos quais foi cultivada a variedade Capinópolis da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) durante os anos agrícolas 1997/98 e 1998/99, no Campo Experimental Vila Chaves, localizado no Campus da Universidade Federal de Viçosa, em viçosa-MG. Em cada experimento, a semeadura foi realizada em 12 de dezembro de 1997 e 9 de dezembro de 1998.

As plantas de soja foram submetidas aos seguintes tratamentos: irrigada por todo o período (IPTP), não-irrigada na fase vegetativa (NIFV), não-irrigada na de florescimento (NIFF) e irrigada por todo o período e sombreada na fase vegetativa (ISFV). O estresse de água aplicado nas fases vegetativa e de florescimento da soja foi obtido mediante a cobertura de plástico (polietileno transparente) das parcelas, e o estresse de radiação foi aplicado por meio da cobertura das parcelas com telas plásticas (sombrit).

Foram feitas análises da eficiência do uso da radiação solar (EUR) e da água (EUA) pela soja dos dois plantios, submetida aos diversos tratamentos citados anteriormente.

Em cada plantio, a soja (*Glycine max* (L.) Merrill) apresentou, entre os tratamentos, valores diferenciados da eficiência de uso da radiação (EUR) e da eficiência do uso de água (EUA) ao longo de suas fases de desenvolvimento.

O comportamento da produtividade da variedade de soja, nos tratamentos apresentou-se com valores diferentes entre os dois anos de plantio.

As plantas sob redução do fluxo de luz (ISFV) apresentaram, durante o período em que foram mantidas sombreadas, aumento na área foliar específica (AFE). Uma vez que as plantas foram mantidas sob baixo nível de radiação incidente, houve aumento na AFE, visando maximizar os seus mecanismos de interceptação, para o que se desenvolveram folhas finas, porém maiores.

Em condições de baixa radiação, as plantas de soja caracterizaram-se por apresentar menor longevidade das folhas, tendo sido observado que as folhas das plantas que se desenvolveram à sombra anteciparam a sua taxa máxima de interceptação da radiação solar, em relação às cultivadas sob máxima radiação solar.

A eficiência de uso da radiação na cultura da soja tendeu a aumentar quando as plantas foram submetidas a uma redução do nível de luz. O sombreamento da soja na fase vegetativa reduziu a radiação incidente sobre o dossel, porém essas plantas mostraram-se portadoras de mecanismos de plasticidade, o que lhes permitiu otimizar a interceptação da radiação solar, de forma que o seu poder de interceptação não foi modificado, em comparação com o PI das plantas de soja sem qualquer estresse. Assim, as plantas da variedade de soja estudada possuem capacidade de compensar a baixa radiação disponível por meio de um sensível aumento na sua eficiência de uso da radiação.

O estresse de luz na cultura da soja provocou redução na matéria seca, diminuição do índice de área foliar e baixa produtividade de grãos, demonstrando que as altas densidades de plantio não devem ser conduzidas no caso do cultivar analisado neste trabalho.

O sombreamento das plantas de soja causou redução na eficiência do uso de água por essa cultura, durante a fase em que ela permaneceu sombreada. Entretanto, após restabelecido o fluxo normal da radiação sobre as plantas, a EUA nas fases subseqüentes (florescimento e enchimento de grãos) foi recuperada.

O estresse hídrico, durante as fases vegetativa e de florescimento, não afetou a eficiência de uso da água pela soja durante essas fases. De modo geral, a EUA correspondente aos períodos em que as plantas estavam estressadas (NIFV e NIFF) foi maior em relação à do tratamento que não passou por qualquer estresse.

O estresse hídrico na fase de florescimento não alterou os mecanismos de interceptação e a EUR dessa fase.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALADOS, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. Direct and diffuse photosynthetically active radiation: Measurements and modelling. **Agric. For. Meteorol.**, v.93, p.27-38, 1999.
- ALADOS, I.; FOYO-MORENO, I.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. Photosynthetically active radiation: Measurements and modelling. **Agric. For. Meteorol.**, v.78, p.121-131, 1996.
- ALLEN, L.H. Jr.; STEWART, D. W.; LEMON, E.R. Photosynthesis in plant canopies: effect to light response curves and radiation source geometry. **Photosynthetica**, v. 8, n.3, p.184-207, 1974.
- ALVES, A.R.; VIANELLO, R.L.; SEDIYAMA, G.C. Estimativa da radiação solar global diária a partir de dados de insolação, para Viçosa , Minas Gerais. **Rev. Exper.**, v.10, p.211-222, 1981.
- ANDRADE, F. H.; UHART, S. A.; FRUGONE, M. I. Intercepted radiation at flowerering and kernel number in maize: shade versus plant density effects. **Crop Sci.**, v.33, p.482-485, 1993.
- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Q.J. Meteor. Soc.**, v.50, p.121-126, 1924.
- AUFHAMMER, W.; GÖTZ-LEE, I. Effects of inflorescence removal on interactions between reproductive storage sites of fields beans (*Vicia faba*) under different shading treatments. **J. Agric. Sci.**, v. 116, p.409-415, 1991.
- BEEL, M.J.; WRIGHT, G.C.; HAMMER, G.L. Night temperature affects radiation-use efficiency in peanut. **Crop Sci.**, v.32, p.1329-1335, 1992.

- BEGG, J.E.; TORSELL, B.W.R. Diaphotonastic and parahelionastic leaf movements in *Stylosanthes humilis* H.B.K. (*Townsville Stylo*). **Bolletín of the Royal Society of New Zeland**, v.12, p.277-283, 1974.
- BERG, V. S.; HSIAO, T.C. Solar tracking: light avoidance induced by water stress in leaves of kidney bean seedlings in the field. **Crop Sci.**, v.26, p.980-986, 1986.
- BERLATO, M.A., BERGAMASCHI, H. Consumo de água da soja. I. Evapotranspiração estacional em ótimas condições de disponibilidade de água no solo. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PESQUISA DA SOJA, 1978, Londrina. Londrina: [s.n], 1978. p.23-34. **Anais..**
- BLAD, B. L.; BAKER, D.G. Orientation and distribution of leaves within soybean canopies. **Agron. J.**, v. 64, p.26-29, 1972.
- BLISKA, A. J.; HONÓRIO, S.L. Características óticas de materiais de cobertura de viveiros e estufas. **Eng. Rural**, v.7, p.40-42, 1996.
- BOYER, J.S. Differing sensitivity of photosynthesis to low leaf water potentials in corn and soybean. **Plant Physiol.**, v.46, p.236-239, 1970.
- BROUGHAM, R. W. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growth rate of some pasture and crop plants. **Ann. Botany**, v.24, p. 463-473, 1956.
- BOARDMAN, N. K. Comparative photosynthesis of sun and shade plants. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v.28, p.355-377, 1977.
- BORÉM, A.. **Melhoramento de plantas**. Viçosa-MG: UFV, 2001. 500 p.
- BRUNT, D. Notes on radiation in the atmosphere. **Q.J. Meteor. Sci.**, v.58, p.389-420,1932.
- BUENO, L. C.S.; MENDES, A.N.G.; CARVALHO, S.P. **Melhoramento genético de plantas: Princípios e procedimentos**. Lavras-MG: UFLA, 2001. 282 p.
- BUISSON, D.; LEE, D. W. The developmental responses of papaya leaves to simulated canopy shade. **American J. of Botany**, v.80, n.8, p.947-952,1993.
- BUTTERY, B.R., TAN, C.S., BUZZELL, R. I. Stomatal numbers of soybean and response to water stress. **Plant and soil**, v.149, p.283-288, 1993.
- CÂMARA, G. M. S. **Efeito do fotoperíodo e da temperatura no crescimento, florescimento e maturação de cultivares de soja**. Viçosa, MG:UFV, 1991. 98 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa-UFV, 1991.

- CARLESSO, R. Absorção de água pelas plantas: água disponível versus extraível e a profundidade das culturas. **Ciência Rural**, v.25, n.1, p.183-188, 1995.
- CIHA, A.J.; BRUN, W.A. Stomatal size and frequency in soybeans. **Crop Science**, v.15, n.3, p.309-313, 1975.
- CLEMENTE, H. S., MARLER, T. E. Drought stress influences gas-exchange responses of papaya leaves rapid changes in irradiance. **J. American Horticult. Sci.**, v.12, n.2, p. 292-295, 1996.
- CONFALONE, A. E. **Captura e utilização da radiação na cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) com e sem irrigação em diferentes estádios de desenvolvimento.** Viçosa, MG:UFV, 1998. 74p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- COOPER, C. S. Morphology and chlorophyll content of shade and sun leaves of two legumes. **Crop Sci.**, v.7, p.672-674, 1967.
- COOPER, C. S. Response of birdsfoot trefoil and alfalfa to various levels of shade. **Crop Sci.**, v.6, p.63-66, 1966.
- COOPER, P.I., The absorption of radiation in solar stills. **Solar energy**, v.12, n.3, p.333-346, 1969.
- COSTA, A.C. **Cultura da soja.** Porto Alegre: Ed. I. Manica e L.A. Costa, 1996. 233 p.
- COSTA, J.A.; MARCHEZAN, E. **Caracterização dos estádios de desenvolvimento da soja.** Campinas: Fundação Cargill, 1982. 30 p.
- COSTA, L. C.; CONFALONE, A. E.; PERREIRA, C.R. Effect of water stress on the efficiency of capture of water and radiation by soybean. **Tropical Sci.**, v.39, n.1, p.1-7, 1999.
- COSTA, L.C.; MORISON, J.; DENNETT, M. Carbon balance of growth Faba Bean and effect on crop growth: Experimental and modelling approaches. **Rev. Bras. de Agromet.**, v.4, n.2, p. 11-17, 1996.
- COSTA, L.M., **Caracterização das propriedades físicas e químicas dos solos de terraços fluviais, na região de Viçosa, e sua interpretação para uso agrícola.** Viçosa, MG: UFV, 1973. 55 p. Dissertação (Mestrado em Solos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- COX, W. J.; JOLIFF, G. D. Crop-water relations of sunflower and soybean under irrigation and dryland conditions. **Crop Sci.**, v. 27, p.553-557, 1987.

- CROOKSTON, R. K.; TREHARNE, K. J.; LUDFORD, P. et al. Response of beans to shading. **Crop Sci.**, v.15, p.412-416, 1975.
- CURRY, R.B.; BAKER, C.H.; STREER, J.G. et al. A dynamic simulator of soybean growth and development. **Transaction of the ASAE**, v. 18, n.5, p. 963-968, 1975.
- DAVIES, W.J.; MANSFIELD, T.A.; HETHERINGTON, A.M. Sensing of soil water status and the regulation of plant growth and development. **Plant, Cell Environment**, v.13, p.709-719, 1990.
- DE WIT, C.T. **Photosynthesis of leaf canopies**. Verls: Landboutwk, Onderz, 1965. 67 p.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A. H. **Yield response to water**. Roma: FAO, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage, 33).
- DOSS, B. D.; PEARSON, R. W.; ROGERS, H.T. Effect of soil water stress at various growth stages on soybean yield. **Agron. J.**, v.66, p.297-299, 1974.
- DUBETZ, S. An unusual photonastism induced by drought in *phaseolus vulgaris*. **Can. J. Botany**, v.47, p.1640-1641, 1969.
- DUCAN, W.G.; LOOMIS, R.S.; WILLIAMS, W.A. et al. A model for simulating photosynthesis in plant communities. **Hilgardia**, v.38. p.129-205, 1967.
- FARIAS, J. R. B.; NEUMAIER, N.; ALMEIDA, I. R. Modelagem das respostas da cultura da soja ao ambiente. In: FARIAS, J.R.B. (Ed.) **Resultados de pesquisa da EMBRAPA soja**. Londrina, PR: EMBRAPA Soja:. p.13-15. 1997.
- FARNHAM, M. W.; GROSS, H. D.; CAPPY, J. J. Effect of light level on dinitrogen fixation and carbohydrate distribution in Virginia Peanuts. **Crop Sci.**, v.26, p.311-316, 1986.
- FEHR, W.R.; CAVINESS, C.E. **Stages of soybean development**. Ames: Iowa State University, 1997. 11 p. (Special Report, 80).
- FORSET, I.; EHLERINGER, J.R. Solar tracking response to drought in a desert annual. **Oecologia**, v.44, p.159-163, 1980.
- FORTIN, M. C.; PIERCE, F.J. Leaf azimuth in strip-intercropped corn. **Agron. J.**, v. 88, p.6-9, 1996.
- FU, Q. A.; EHLERINGER, J.R. Heliotropic leaf movements in common beans controlled by air temperature. **Plant Physiol.**, v.91, p.1162-1167, 1989.

- GHEYI, H. R.; SOUSA, A. A., DAMASCENO, F. A. V. et al. **Efeito da água no rendimento das culturas**. Campinas Grande: UFPB, 1994. 306 p.
- GILONI, P. C. **Crescimento e produção de dois cultivares e três linhares de soja sob três níveis de sombreamento, em Entre Rios – Guarapuava, PR**. Viçosa, MG:UFV, 2000. 62 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- GREEN, C.F. Nitrogen nutrition and wheat growth in relation to absorbed radiation. **Agric. For. Meteorol**, v.41, p..207-248, 1987.
- GREEN, S.R.; McNAUGHTON, K. G.; GREER, D. H. et al. Measurement of the increased PAR and net all-wave radiation absorption by apple tree caused by applying a reflective ground covering. **Agric. For. Meteorol**, v.76, p.163-183, 1995.
- HALE, M. G.; ORCUTT, D. M. **The physiology of plants under stress**. New York: Academic Press, 1987. 206 p.
- HAMMER, G.L.; VANDERLIP, R.L. Genotype-by-environment interaction in grain sorghum: I effects of temperature on radiation use efficiency. **Crop Sci.**, v.29, p.370-376, 1989.
- HARPER, J. L. **Population biology of plants**. London: Academic Press, 1977.
- HOOGENBOOM, G.; PETERSON, C.M.; HUCK, M.G. Short growth rate of soybean as affected by drought stress. **Agron. J.**, v.79, p.598-607, 1987.
- HSIAO, T. C. Plant responses to water stress. **Ann. Rev. of Plant Physiol.**, v. 24, p. 519-570, 1973.
- HUGHES, G. Modelling the effect of spatially heterogeneous pest injury on crop yields. **Crop Res. (Hot. Res.)**, v.28, p.137-144, 1988.
- HUNDAL, S.; SINGH, R.; DHALIWAL, L.K. Agro-climate indices for predicting phenology of wheat (*Triticum aestivum*) in Punjab. **Indian J. Agric. Sci.**, v.7, n.6, p.265-268, 1997.
- IMSANDE, J. Agronomic characteristics that identify high yield, high protein soybean genotypes. **Agron. J**, v.84, p.409-414, 1992.
- IQBAL, M. **An introduction to solar radiation**. New York: Academic Press, 1983. 390 p.
- JESEN, M.E. **Consumptive use of water and irrigation water requeriments**. New York: American Society of Civil Engeneer, 1973. 215 p.

- JIANG, H.; EGLI, D. B. Shade induced changes in flower and pod number and flower and fruit abscission in soybean. **Agron. J.**, v.85, p.221-225, 1993.
- JOHNSON, I.R.; RIHA, S.J; WILKS, D.S. Modelling daily net canopy photosynthesis and its adaptation to irradiance and atmospheric CO<sub>2</sub> concentration. **Agricul. Systems**, v.50, p.1-35, 1995.
- JOHNSTON, T. J.; PENDLETON, J. W.; PETERS, D. B. et al. Influence of supplemental light on apparent photosynthesis, yield, and yield components of soybeans (*Glycine max* (L.)). **Crop Sci.**, v. 9, p. 577-581, 1969.
- JÚNIOR, R. J. **Análises estatísticas no SAEG**. Viçosa, MG:UFV, 2001. 301 p.
- KANEMASU, E. T.; TANNER, C. B. Stomatal diffusion resistance of snap beans. II. Effect of light. **Plant physiol.** v. 44, p. 1542-1546, 1969.
- KASIM, K.; DENNETT, M. D. Effects of shading and density on leaf growth of *Vicia faba*. **Ann. Appl. Biol.**, v. 109, p. 627-638, 1986.
- KENDRICK, R. E.; FRANKLAND, B. **Fitocromo e crescimento vegetal**. São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 1981. 76 p.
- KIMES, D. S.; RANSON, K.J.; SMITH, J.A. A Monte Carlo calculation of the effects of canopy geometry on PhAR absorption. **Photosynthetica**, v.14, n.1, p.55-64, 1980.
- KINIRY, J.R.; JONES, C.A.; O'TOOLE, R.. et al. Radiation-use efficiency in biomass accumulation prior to grain-filling for five grain-crop species. **Field Crops Res.** v.20, p.51-64, 1989.
- KRAMER, P. J. **Water relations of plants**. New York: Academic Press, 1983. 489 p.
- KRAMER, P. J.; BOYER, J.S. **Water relations of plants and soils**. London: Academic Press, 1995. 495 p.
- KUDREV, T. G. **Água – Vida das plantas**. São Paulo: Cone, 1994. 178 p.
- LEVITT, S. **Protoplasmatologia**. Wien: Springer Rer., 1958. p.1-85
- MAGALHÃES, C. P.; OLIVEIRA, A. C.; FILHO, I. A. et al. **Efeito do sombreamento artificial sobre a produção e algumas características do feijoeiro comum (*Phaseolus vulgaris* L.)**. Sete Lagoas, MG: EBRAPA - CNPMS, PA/4-Dezembro, 1991. 4p.

- MELGES, E. **Crescimento, conversão da energia solar e nodulação da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob quatro níveis de radiação solar, em Viçosa, Minas Gerais**, 1983. 78 p. Dissertação (Mestrado em Fisiologia Vegetal) – Universidade Federal de Viçosa , Viçosa.
- MEYER, S. W.; WALKER, S. Leaflet orientation in water-stressed soybeans. **Agron. J.**, v. 73, p.1071-1074, 1981.
- MONTEITH, J.L.; F.R.S. Climate and the efficiency of crop production in Britain. **Phil. Trans. R. Soc.** v. 281, p. 277-294, 1977.
- MUCHOW, R. C. ; SINCLAIR, T. R.; BENNETT, J.M. et. al. Response of leaf growth , leaf nitrogen, and stomatal conductance to water deficits during vegetative growth of field-grown soybean. **Crop Sci.**, v.26, p 1190-1195, 1986.
- MUNDSTOCK, C. M. **Densidade de semeadura de milho para o Rio Grande Sul**. Porto Alegre: UFRGS, 1977. 35 p. (Boletim Técnico).
- NICHIPROVICH, A.A. Properties of plant crops as an optical system. **Soviet Plant Physiol.**, v.8, p.428-435, 1962.
- OMETO, J. C. **Bioclimatologia Vegetal**. São Paulo: Ceres, 1981. 400 p.
- ONG, C.K.; SIMMONDS, L.P.; MATTHEWS, R.B. Responses to saturation deficit in a stand of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). 2. Growth and development. **Ann. of Botany**, v. 59, p.121-128, 1987.
- OOSTERHUIS, D.M., WALKER, S., EASTHAM, J. Soybean leaflet movements as an indicator of crop water stress. **Crop Sci.**, v. 25, p.1101-1106, 1985.
- PACHESPSKY, L. B. An adequate model of photosynthesis - I : parameterization, validation and comparison of models. **Agricult. Systems**, v. 50, p. 209-225, 1996.
- PEREIRA, C. R. **Crescimento e desenvolvimento da cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill) sob deficiência hídrica**. Viçosa, MG:UFV, 1998. 98 p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- PRÈSCOTT, J.A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. **Trans. R. Soc. Aust.** v.46, p.114-118, 1940.
- REICHARDT, K. **A água em sistemas agrícolas**. São Paulo: Manole, 1990. 188 p.
- RIZZARDI, M. A.; SILVA, P. R.F. Resposta de cultivares de girassol à densidade de plantas em duas épocas de semeadura. **Pesq. Agropec. Bras.**, v.28, n.6, p. 675-687, 1993.

- ROSA, L. M.; FORSETH, I. N. Diurnal patterns of soybean leaf inclination angles and azimuthal orientation under different leaves of ultraviolet-B radiation. **Agric. For. Meteorol**, v. 78, p. 107-119, 1995.
- SAKAMOTO, C. M.; SHAW, R. H. Light distribution in field soybean canopies. **Agron. J.** v.59, p.7-9, 1967.
- SAKIYAMA, N.S.; SEDIYAMA, T.; NOVAIS, R.F. et al. **Cultura da soja no Espírito Santo** (Instruções práticas). Viçosa, MG: UFV, 1990. 16 p. (Boletim, 284).
- SCHOU, J.B.; JEFFERS, D. L.; STREETER, J. C. Effects of reflectors, black boards, or shades applied at different stages of plant development on yield of soybeans. **Crop Sci.**, v. 18, p.29-34, 1978.
- SEDIYAMA, T.; PEREIRA, M.G.; SEDIYAMA, C.S. et al. **Cultura da soja** (parte I). Viçosa, MG: UFV, 1996. 96p (Boletim, 211).
- SHAW, R.H.; WEBER, C. R. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. **Agron. J.**, v.59, p.155-159, 1967.
- SHIRAIWA, T., HASHIRAWA, U. Effects of canopy light distribution characteristics and leaf nitrogen content on efficiency of radiation use in dry matter accumulation of soybean cultivars. Japan. **J. Crop Sci.**, v.29, p.90-98, 1991.
- SILVA, G. F. **Efeitos de diferentes lâminas e frequências de irrigação sobre o desenvolvimento e a produtividade do mamoeiro**. Viçosa, MG:UFV, 1999. 90 p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- SINCLAIR, T.R.; HORIE, T. Leaf nitrogen, photosynthesis, and crop radiation use efficiency: A Review. **Crop Sci.**, v.29, p.90-98, 1989.
- SINCLAIR, T.R., SHIRAIWA, T. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. **Crop Sci.**, 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 Sci.**, v. 32, p.1281-1284, 1992.
- SIONIT, N.; KRAMER, P.J. Effect of water stress during different stages of growth of soybean. **Agron. J.** v.69, p.274-278, 1977.
- SLATYER, R. O. **Plant – Water relationship**. New York: Academic Press, 1967. 269 p.

- SMITH, H. Light quality, perception, and plant strategy. **Ann. Rev. Plant Physiol.**, v.33, p.481-518, 1982.
- SPITTTTERS, C.J.T. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis: Part II – Calculation of canopy photosynthesis. **Agric. For. Meteorol.**, v.38, p.231-242, 1986.
- SPITTTTERS, C.J.T.; TOUSSAINT, H.A.J.M.; GOUDRIAAN, J. Separating the diffuse and direct component of global radiation and its implications for modeling canopy photosynthesis: Part I – Components of incoming radiation. **Agric. For. Meteorol.** v.38, p.217-229, 1986.
- SQUIRE, G.R., MARSHALL, B., TERRY, A.C. et al. Response to temperature in a stand of pear millet. **J. Exper. Botany**, v.35, n.153, p.599-610, 1984.
- STEVENSON, R.K.; SHAW, R. H. Effects of leaf orientation on leaf resistance to water vapor diffusion in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) leaves. **Agron., J.** v.63, p.327-329, 1971.
- TAIZ, L., ZEIGER, E. **Plant physiol.** Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, 1998. 792 p.
- TETENS, O. Über einige meteorologische Berggriffe. **Z. Geophys.**, n.6, p.297-309, 1930.
- THANISAWANYANGKURA, S.; SINOQUET, H.; RIVET, P. et al. Leaf orientation and sunlit leaf area distribution in cotton. **Agric. For. Meteorol** v. 86, p. 1-15, 1997.
- TRANG, K. M.; GIDDENS, J. Shading and temperature as environmental factors affecting growth, nodulation, and symbiotic N<sub>2</sub> fixation soybeans. **Agron. J.**, v.72, p.305-308, 1980.
- TUNER, N.C.; SCHULZE, E.; COLLAN, T. The responses of stomata and leaf gas exchange to vapor pressure deficits and soil water content. II. In: The mesophytic herbaceous species, *helianthus annuus*. **Oecologia**, v. 65, p.348-355, 1985.
- WAHUA, T. A. T.; MILLER, D. A. Effects of shading on the N<sub>2</sub> – fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. **Agron. J.**, v.70, p.387-392, 1978.
- WARREN, J.W. Inclined point quadrats. **New Phytol.**, v.59, p.1-8, 1960.
- WELLS, R.; BURTON, J.W.; KILEN, T.C. Soybean growth and light interception: response to differing leaf and stem morphology. **Crop Sci.**, v. 33, p.520-524, 1993.
- WOFFORD, T. J.; ALLEN, F. L. Variation in leaflet orientation among soybean cultivars. **Crop Sci.**, v. 22, p.999-1004, 1982.

## **APÊNDICES**

## APÊNDICE A

Quadro 1A – Análise de variância dos dados de fração da RFA (f) interceptada pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98

FV	GL	SQ	SQM	F
Blocos	2	812,6	406,3	2,56 ns
Trat <sup>1</sup>	3	290,7	96,9	0,61 ns
Resíduo (A)	6	952,3	158,7	

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 2A – Valores médios da fração da RFA interceptada pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98

Tratamento	Médias
IPTP	93,2 a
NIFV	91,9 a
NIFF	91,7 a
ISFV	90,4 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 3A – Análise de variância da matéria seca produzida pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98

FV	GL	SQ	SQM	F
Blocos	2	34.140,0	170.70,0	3,6 ns
Trat	3	324.761,3	108.253,8	22,8 **
Resíduo (A)	6	28.461,6	4.743,6	

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 4A – Valores médios da matéria seca produzida pela soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	191,5 a
NIFF	161,9 a b
NIFV	152,0 b
ISFV	94,7 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 5A – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as raízes da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	36,54736	18,27368	0,71 ns
Trat	3	884,7332	294,9110	11,53 **
Resíduo (A)	6	153,4620	25,577	

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 6A – Valores médios da matéria seca particionada para as raízes da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	17,42 a
NIFV	14,24 b
NIFF	13,74 b
ISFV	12,43 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 7A – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para o caule da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	1398,785	699,3925	0.80 ns
Trat	3	185.620,6	61.873,53	70,66 **
Resíduo (A)	6	5.253,781	875.6301	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 8A – Valores médios da matéria seca particionada para o caule da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	17,42 a
NIFV	14,24 b
NIFF	13,74 b
ISFV	12,43 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 9A – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para os cotilédones da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	0,2508556	0,1254278	2,30 ns
Trat	3	0,1266249	0,0422830	0,78 ns
Resíduo (A)	6	0,3272580	0,05454300	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 10A – Valores médios da matéria seca particionada para os cotilédones da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
NIFF	1,03 a
IPTP	0,99 a
NIFV	0,98 a
ISFV	0,93 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 11A – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as folhas da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	6.772,084	3.386,402	12,41 **
Trat	3	22.506,47	7.502,156	27,50 **
Resíduo (A)	6	1.636,666	272,7776	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 12A – Valores médios da matéria seca particionada para as folhas da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	56,76 a
NIFF	49,39 a b
NIFV	42,82 b
ISFV	31,63 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 13A – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as flores da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	0.000360006	0,000018	0,01 ns
Trat	3	0,18190980	0.0606366	32,9 **
Resíduo (A)	6	0,01105738	0,0018429	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 14A – Valores médios da matéria seca particionada para as flores da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
NIFF	0,3717 a
IPTP	0,3681 a
NIFV	0,3426 a
ISFV	0,1987 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 15A – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para os grãos da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	49,33509	24,66755	1,62 ns
Trat	3	80,44074	26,81358	1,76 ns
Resíduo (A)	6	91.49204	15,24867	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 16A – Valores médios da matéria seca particionada para os grãos da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
NIFF	12,37 a
IPTP	11,43 a
NIFV	9,38 a
ISFV	8,68 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 17A – Análise de variância resumida da produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	2	0,409872	0,204936	0,31 ns
Trat	3	2,409942	0,803314	1,24 ns
Resíduo	6	3,932073	0,655346	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 18A – Valores médios da produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1997/98

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	3,6930 a
NIFV	3,6855 a
NIFF	3,0010 a
ISFV	2,6536 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

## APÊNDICE B

Quadro 1B – Análise de variância resumida dos dados da fração da RFA (f) interceptada pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	2,332318	2,332318	0,01 ns
Trat	3	842,3266	280,7755	1,18 ns
Resíduo (A)	3	715,6899	238,5633	

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 2B – Valores médios da fração da RFA interceptada (f) pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	65,3 a
NIFF	64,4 a
NIFV	63,8 a
ISFV	59,2 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 3B – Análise de variância resumida Do índice de área foliar (IAF) área foliar da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>F.V</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	0,0066443	0,0066443	17,9 ns
Trat	3	0,128844	0,04294800	11,6 ns
Resíduo (A)	3	0,1111849	0,03706165	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 4B – Valores médios do índice de área foliar (IAF) da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	0,1252 a
NIFV	0,1050 a
NIFF	0,0951 a
ISFV	0,0579 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 5B – Análise de variância resumida da matéria seca produzida pela soja longo cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>F.V</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	29.920,29	29.290,29	0,12 ns
Trat <sup>1</sup>	3	1.085.788,00	361.929,4	1,50 ns
Resíduo (A)	3	722.084,3	240.694,8	

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 6B – Valores médios da matéria seca produzida pela soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	337,92 a
NIFF	250,28 b
NIFV	246,74 b
ISFV	137,97 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 7B – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as raízes da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	43,24202	43,24202	0,5 ns
Trat	3	2.245,316	748,4388	2,49 ns
Resíduo (A)	3	890,8836	296,9612	

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 8B – Valores médios da matéria seca particionada para a raiz ao logo do ciclo de vida da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	27,2493 a
NIFV	22,3586 b
NIFF	20,4990 b c
ISFV	18,5711 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 9B – Análise de variância resumida dos dados de matéria seca particionada para o caule da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	3487,781	3487,781	0,01 ns
Trat	3	202104,1	67368,04	1,93 ns
Resíduo (A)	3	104684,2	34894,73	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 10B – Valores médios da matéria seca particionada para o caule da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	144,26 a
NIFF	103,49 b
NIFV	94,74 b
ISFV	58,33 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 11B – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para os cotilédones da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	0,0508953	0,0508953	5,73 ns
Trat	3	0,02025203	0,00675067	7,60 ns
Resíduo (A)	3	0,002966635	0,000888784	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 12B – Valores médios da matéria seca particionada para os cotilédones da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	0,6445 a
NIFF	0,6341 a
ISFV	0,6100 a
NIFV	0,5965 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 13B – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as folhas da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	3.644,038	3.644,308	0,27 ns
Trat	3	55.532,62	18.510,87	1,40 ns
Resíduo (A)	3	39.663,03	13.221,01	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 14B – Valores médios da matéria seca particionada para as folhas da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	77,37 a
NIFV	57,69 b
NIFF	56,28 b
ISFV	32,15 c

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 15B – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as flores da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	0,08097465	0,08097465	0,18 ns
Trat	3	13,34187	4,447289	9,71 ns
Resíduo (A)	3	1,373988	0,4579960	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 16B – Valores médios da matéria seca particionada para as da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
NIFV	3,14 a
NIFF	2,65 a b
IPTP	2,47 a b
ISFV	2,00 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 17B – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para as vagens da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	1.822,230	1.822,230	0,11 ns
Trat	3	65.575,85	21.858,62	1,40
Resíduo (A)	3	46.717,46	15.572,49	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 18B – Valores médios da matéria seca particionada para as vagens da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	137,58 a
NIFF	119,67 a
NIFV	118,54 a
ISFV	53,43 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 19B – Análise de variância resumida da matéria seca particionada para os grãos da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	2.025,604	2.025,604	0,05 ns
Trat	3	136.225,40	45.408,47	1,02 ns
Resíduo (A)	3	128.008,80	42.669,61	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 20B – Valores médios da matéria seca particionada para os grãos da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	182,00 a
NIFV	144,57 a b
NIFF	129,13 a b
ISFV	47,0 b

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.

Quadro 21B – Análise de variância resumida da produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SQ</b>	<b>SQM</b>	<b>F</b>
Blocos	1	$3,8229 \times 10^{-5}$	$3,8229 \times 10^{-5}$	0,00 ns
Trat	3	2,966443828	0,98881276	2,13 ns
Resíduo	3	1,43276962	0,47758987	-

ns = Não significativo a 1% de probabilidade.

\*\* = Significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 22B – Valores médios da produtividade da soja cultivada no ano agrícola 1998/99

<b>Tratamento</b>	<b>Médias</b>
IPTP	4,4 a
NIFV	3,8 a
NIFF	3,5 a
ISFV	2,7 a

As médias seguidas de pelo menos uma mesma letra não diferem entre si, pelo teste de Tukey a 1%.