

ISSN 0104-1347

## Efeito do estresse de luz e água na eficiência do uso da radiação solar pela cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill)

Effect of light and water stress on radiation use efficiency of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) crop

Francisca Zenaide de Lima<sup>1</sup>, Luiz Claudio Costa<sup>2</sup>, Carlos Rodrigues Pereira<sup>3</sup>, Durval Dourado Neto<sup>4</sup> e Adriana Elizabet Confalone<sup>5</sup>

**Resumo** - Foi determinada eficiência de uso da radiação solar (EUR) e a capacidade de interceptação da radiação solar pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill), cultivada sob deficiência de luz (sombreamento) e de água, durante a fase vegetativa. Dois experimentos (ano agrícola 1997/98 e 1998/99) foram conduzidos na Área Experimental Vila Chaves, no campus da Universidade Federal de Viçosa, localizada no Município de Viçosa, MG. As plantas de soja apresentaram plasticidade, em compensar a baixa radiação disponível, por meio de um sensível aumento na sua EUR. Durante o estresse de luz, a cultura sofreu uma redução de mais de 50% da radiação interceptada, porém apresentou um aumento superior a 15% na EUR, quando comparada com aquela que não passou por nenhum estresse, ao longo do seu ciclo de desenvolvimento. Em relação às plantas que foram cultivadas sob deficiência hídrica durante a fase vegetativa, a soja cultivada sob estresse de luz interceptou 51% (1997/98) e 45% (1998/99) menos, porém apresentou EUR de 41% (1997/98) e 22% (1998/99) maior.

**Palavras-chave:** soja, estresse de luz e água, eficiência de uso da radiação solar.

**Abstract** - This study aimed to analyze the radiation use efficiency (RUE) and the radiation interception ability by the soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown under stress conditions of light (shading) and water, during the vegetative phase. Two experiments were carried out (agricultural years 1997/98 and 1998/99) in Vila Chaves experimental area, located at the campus of the Universidade Federal de Viçosa, Viçosa county, MG. The soybean plants showed a plasticity to compensate the available low radiation by increasing their RUE. During the light stress (ISVF), the soybean crop suffered a reduction above 50% in the intercepted radiation, but showed an increase above 15% in RUE, compared to the soybean that was not under any stress (ITP) along its life cycle. Concerning to the plants that were cropped under water stress during the vegetative phase (NIVF), the soybean cropped under light stress (ISVF) intercepted 51% (1997/98) and 45% (1998/99) less radiation, but showed higher values for RUE, that is, 41% (1997/98) and 22% (1998/99).

**Key words:** soybean, light and water stress, radiation use efficiency.

### Introdução

Os estudos sobre as interações solo-planta-atmosfera são importantes na definição das condições ambientais favoráveis, para que uma cultura atinja altos níveis de produtividade. Portanto, esse entendimento é de grande valia para se alcançar o

equilíbrio entre a crescente demanda de alimentos, decorrente do aumento populacional e a produtividade das culturas.

As primeiras análises quantitativas concernentes ao crescimento de plantas fundamentaram-se em observações empíricas sobre o crescimento da

<sup>1</sup> DS em Eng<sup>a</sup> Agrícola: rua João José Araújo, 95/202 - Bairro Clélia Bernardes-Viçosa//MG - Brasil - 36.570.000.

<sup>2</sup> Prof. Adjunto do Departamento de Eng<sup>a</sup>. Agrícola, Univ. Federal de Viçosa, 36571-000, Viçosa - MG/Brasil.

<sup>3</sup> DS em Eng<sup>a</sup>. Agrícola, Pesquisador do CNPq- na USP/ESALQ, Rua Edu Chaves, 1330, São Dimas, 13416-020 Piracicaba, SP. gambazi@ig.com.br.

<sup>4</sup> Prof. Associado da USP/ESALQ, [Dourado@esalq.usp.br](mailto:Dourado@esalq.usp.br).

<sup>5</sup> Prof<sup>a</sup> da Faculdade de Agronomia de Azul, Buenos Ares - Argentina, [aec@aa.unicen.edu.ag](mailto:aec@aa.unicen.edu.ag).

matéria seca, produzida pelas plantas ao longo do tempo (BLACKMAN, 1919).

Sob essa ótica, desenvolveram-se parâmetros para análise de crescimento das culturas, permitindo obter os primeiros avanços no entendimento da influência das condições ambientais sobre a produtividade das culturas (BRIGGS *et al.*, 1920). Posteriormente, as pesquisas sobre o crescimento das culturas passaram a ser realizadas com base na interceptação e absorção da irradiância solar pelo dossel, no índice de extinção da luz e na estrutura do dossel (SAEKI, 1960; BROUGHAM, 1956; WARREN, 1960; NICHIPROVCH, 1962). Seguindo esta linha, pesquisadores demonstraram que a matéria seca produzida por diferentes culturas é diretamente proporcional à quantidade de irradiância solar interceptada por elas (SHIBES & WEBER, 1965; WILLIAMS *et al.*, 1965; BAKER & MEYER, 1966).

MONTEITH (1977), analisando a relação entre a radiação interceptada e a matéria seca produzida por diferentes culturas, obteve um valor médio em torno de  $1,4 \text{ g.MJ}^{-1}$  e propôs que esta relação fosse denominada como eficiência de uso da radiação (EUR) das culturas.

A EUR relaciona-se aos mecanismos de captura da irradiância e aos processos de produção de biomassa pela planta podendo, portanto, ser interpretada como um índice representativo das condições ambientais e dos mecanismos fisiológicos envolvidos na morfogênese dos vegetais (ARKEBAUER *et al.*, 1992).

Quando expostas a algum tipo de estresse, as plantas apresentam modificações nos mecanismos de captura da radiação solar e na EUR (MUCHOW; 1985, WAGGONER & BERGER, 1987; GREEN, 1987; SINCLAIR & SHIRAIWA, 1993). Portanto, as investigações quanto aos mecanismos de captura da radiação e da eficiência de uso da radiação solar pelos vegetais, mediante condições ambientais adversas à sua natureza, são viáveis para a identificação das estratégias fisiológicas e morfológicas realizadas pelas plantas, visando diminuir os prejuízos à sua produtividade, causados pelo estresse.

A cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), quando exposta ao estresse hídrico, durante a fase vegetativa, reduz, em 40%, a quantidade de radiação interceptada, porém, compensa essa redução com o aumento da EUR, na mesma proporção (COSTA *et*

*al.*, 1999). Assim, vale indagar se a compensação na EUR pela soja ocorreu, simplesmente, para compensar a baixa quantidade de radiação interceptada ou se foi obtida em função de uma plasticidade no metabolismo fisiológico a fim de diminuir os efeitos negativos da deficiência de água no solo, na produtividade final. Tal indagação sugere, portanto, que se investiguem os mecanismos de captura da radiação e da EUR pela cultura da soja, cultivada sem deficiência de água (estresse hídrico) e sob redução do nível de radiação incidente (sombreamento).

Mediante o exposto, este trabalho foi realizado a fim de analisar os efeitos do estresse de luz sobre os mecanismos de captura da radiação solar e na EUR pela soja (*Glycine max* (L.) Merrill) irrigada e sob estresse de luz.

## Material e métodos

Os resultados e conclusões deste trabalho foram obtidos a partir de dados de dois experimentos conduzidos numa área pertencente ao campus da Universidade Federal de Viçosa (UFV), Viçosa, Minas Gerais, Brasil ( $20^{\circ}45'S$ ;  $42^{\circ}51'W$ ; 650 m), com a cultura da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), variedade Capinópolis. No primeiro experimento, a semeadura da soja foi realizada em 12 de dezembro de 1997 e, no segundo, em 9 de dezembro de 1998.

O solo do local é do tipo Podzólico Amarelo-Vermelho Câmbico, fase terraço (COSTA, 1973) e foi preparado com uma aração, seguida de uma adubação com 30 kg/ha de  $K_2O$  e 60 kg/ha de  $P_2O_5$  e finalizada com uma gradagem. Na adubação da área, utilizou-se o cloreto de potássio (KCl) como fonte de  $K_2O$  e o superfosfato simples (SS) como fonte de  $P_2O_5$ .

A área de plantio foi subdividida em parcelas, cada uma medindo 6 m de largura e 12 m de comprimento. As fileiras de plantas foram espaçadas em 0,7 m e a densidade média de plantas foi  $22 \text{ plantas.m}^{-2}$ . No primeiro ano, cada tratamento teve três repetições (12 parcelas) e, no segundo, duas repetições (8 parcelas). Nos dois experimentos, os tratamentos aplicados à cultura foram os seguintes: 1 - Irrigado por todo o período (IPTP); 2 - Não-irrigado na fase vegetativa (NIFV); 3 - Não-irrigado na fase de florescimento (NIFF); e 4 - Irrigado por todo o período e sombreado na fase vegetativa (ISFV).

A irrigação foi realizada por meio de um

sistema de microaspersão, constituído de mangueiras flexíveis (Santeno Irrigações do Nordeste S.A.). A cada dia, o sistema de irrigação aplicou uma lâmina de água equivalente à evapotranspiração diária da cultura (ETc), a qual foi calculada a partir da evaporação do tanque classe A, corrigida pelos coeficientes de tanque ( $K_t$ ) e da cultura ( $K_c$ ), utilizando-se os valores recomendados pela FAO (DOORENBOS & KASSAM, 1979). O manejo da irrigação foi realizado, considerando-se a chuva ocorrida entre duas irrigações sucessivas, de forma a completar a demanda hídrica da soja. Nas fases em que a cultura era irrigada, a umidade do solo foi mantida próximo à capacidade de campo, com reposição da ETc no final de cada dia.

As plantas dos tratamentos NIFV e NIFF foram mantidas sob déficit hídrico, por meio de coberturas de plástico polietileno transparente e as do tratamento ISFV foram mantidas sob déficit de luz, por meio de coberturas de telas plásticas pretas (sombrite), ambas montadas em suportes de madeira com 2,50 m de altura. O sombrite tinha capacidade de redução do nível de radiação incidente, sobre a cultura, de 50%. As coberturas de plástico transparente e as de sombrite eram fixas e foram colocadas no início das fases em que as plantas eram submetidas aos déficits de água e de luz e eram retiradas, somente, imediatamente após o término de cada fase.

A irradiância solar global diária ( $R_g$ ) foi estimada, empregando a equação de ÅNGSTRÖM (1924), modificada por PRËSCOTT (1940), utilizando-se os valores dos coeficientes  $a$  e  $b$  determinados por ALVES et al. (1981). A radiação fotossinteticamente ativa diária incidente (RFAInc) foi considerada como sendo 50% dos valores da irradiância solar global (SPITTERS et al., 1986; SPITTERS, 1986).

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

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

Em que,  $I$  é a radiação fotossinteticamente ativa (RFA) medida na base do dossel ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ) e  $I_0$  é a RFA medida no topo do dossel ( $\mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ).

As medidas de  $I$  e  $I_0$  foram tomadas, em torno do meio-dia solar, em 10 plantas de cada parcela, com um ceptômetro (Tipo Delta T – Devices). A radiação fotossinteticamente ativa, interceptada (RFAInt) pelas plantas, em determinado dia, foi obtida

multiplicando-se o valor da radiação fotossinteticamente ativa diária incidente (RFAInc = 50% da  $R_g$ ), acumulada entre duas medições sucessivas ( $t_1$  e  $t_2$ ), pela fração interceptada  $f$ , na data desejada ( $t_2$ ), ou seja,

$$\text{RFAInt} = \left( \sum_{t_1}^{t_2} \text{RFAInc} \right) \times f \quad (2)$$

em que, RFAInt é a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa, interceptada pela cultura, num intervalo de tempo compreendido entre  $t_1$  e  $t_2$ , em  $\text{MJ.m}^{-2}$ ; RFAInc é a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel das plantas, durante o intervalo de tempo compreendido entre  $t_1$  e  $t_2$ , em  $\text{MJ.m}^{-2}$ ; e  $f$  é a fração da radiação fotossinteticamente ativa incidente sobre o dossel das plantas que foi interceptada pelo mesmo, em %.

Para avaliar a matéria seca (MS) e a área foliar (AF) das plantas, em cada parcela, foram coletadas 10 plantas, em intervalos de dois em dois dias, nos 30 primeiros dias após a emergência (DAE) e, a partir do trigésimo primeiro DAE, a amostragem das plantas foi realizada em intervalos de 7 em 7 dias. A área foliar das plantas foi medida por meio de um medidor eletrônico da LI-COR (Modelo LI – 3100, Inc. Lincoln, NE). A matéria seca da soja foi obtida, adotando-se o processo de secamento em estufa a  $75^\circ\text{C}$ , durante 72 horas, em seguida foi pesada em uma balança de precisão. A EUR foi estimada, em cada fase fenológica, por meio de regressão linear entre a fitomassa e a RFAInt, em cada fase de desenvolvimento da cultura (MONTEITH, 1977).

## Resultados e discussão

Conforme esperado, ao longo da fase vegetativa, as plantas sombreadas sofreram uma redução efetiva, em relação às plantas que não sofreram nenhum estresse (IPTP), na radiação fotossinteticamente ativa incidente (RFAInc) no topo do dossel, sendo de 54% e 51% nos experimentos realizados em 1997/98 e 1998/99, respectivamente (Tabela 1). Ao longo do ciclo da cultura (CC), as reduções, em relação ao IPTP, foram de 35% e 22% (Tabela 1). As diferenças nos valores de RFAInc, durante cada fase vegetativa dos tratamentos não-sombreados (IPTP, NIFV e NIFF) bem como durante as fases de florescimento e de enchimento de grãos

**Tabela 1.** Valores de radiação solar fotossinteticamente ativa incidente (RFAInc, em MJ.m<sup>-2</sup>) e interceptada (RFAInt, em MJ.m<sup>-2</sup>) em cada fase de desenvolvimento da soja cultivada nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.

Períodos	IPTP				ISFV			
	1997/98		1998/99		1997/98		1998/99	
	RFAInc	RFAInt	RFAInc	RFAInt	RFAInc	RFAInt	RFAInc	RFAInt
FV <sup>1</sup>	426	223	411	143	197 (-54)	108 (-52)	203 (-51)	62 (-57)
FF <sup>2</sup>	172	164	207	189	155	146	207	170
FEG <sup>3</sup>	251	239	385	322	207	195	371	291
CC <sup>4</sup>	856	626	1.003	655	559 (-35)	449 (-28)	781 (-22)	523 (-20)

Períodos	NIFV				NIFF			
	1997/98		1998/99		1997/98		1998/99	
	RFAInc	RFAInt	RFAInc	RFAInt	RFAInc	RFAInt	RFAInc	RFAInt
FV	426	220 (-1)	387 (-6)	112 (-22)	414 (-3)	205 (-8)	400 (-3)	132 (-8)
FF	163	153	203	171	191	177	207	190
FEG	245	242	408	355	233	221	358	309
CC	843 (-1)	615 (-2)	998 (-3)	638 (-2)	839 (-4)	603 (-4)	965 (-4)	630 (-4)

(-) = % de redução e (+) = % de aumento do tratamento em questão, em relação ao IPTP.

FV= fase vegetativa; FF= fase de florescimento; FEG=fase de enchimento de grãos; CC= ciclo completo.

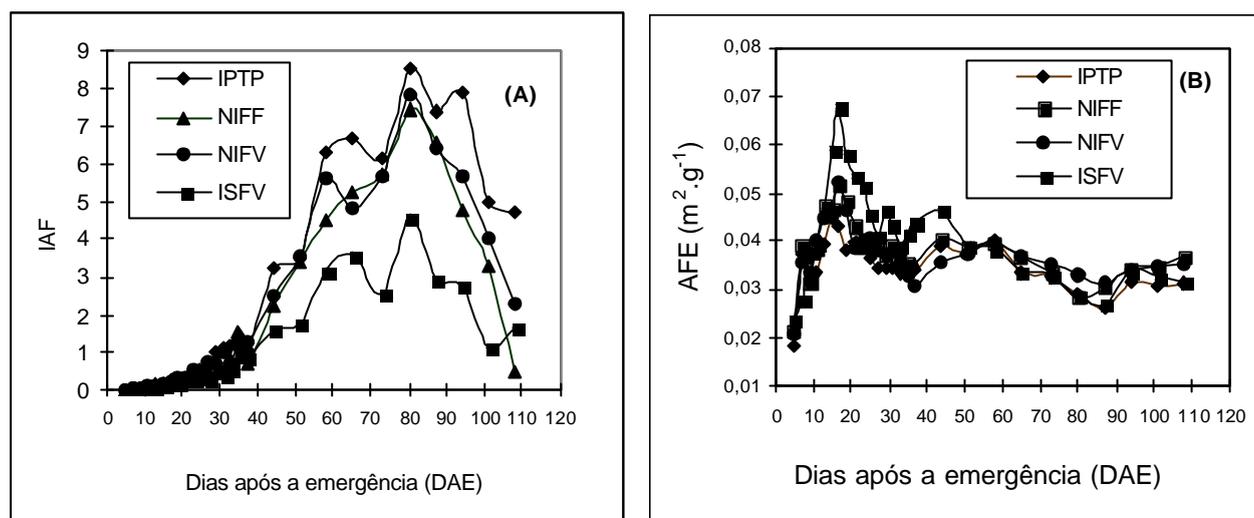
das plantas do ISFV ocorreram devido, exclusivamente, às diferenças na duração destas fases.

Na fase vegetativa, a soja do ISFV teve redução de 52% na quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada (RFAInt), no ano agrícola 1997/98 e de 57% no ano 1998/99, em relação à soja do IPTP (Tabela 1). Entretanto, considerando, os valores do *poder de interceptação* (PI), que corresponde ao quanto da radiação RFAInc foi interceptada pela cultura (Tabela 2), observa-se que, nas plantas sombreadas, a habilidade dos mecanismos de interceptação da radiação foi semelhante àquelas das plantas não-sombreadas. Tal fato indica que as plantas, sob deficiência de luz, auto-ajustaram-se à baixa densidade de fluxo de radiação, por meio de mudanças morfológicas, como aquelas observadas, nas folhas da soja, cultivada no ano 1998/99 (Figura 1A), em que, embora o índice de área foliar (IAF) fosse semelhante àquele dos tratamentos sem sombreamento, as plantas apresentaram área foliar específica (AFE, que representa a relação entre a área foliar e a MS das folhas) maior, ou seja, apresentaram-se mais finas, durante o período de sombreamento (Figura 1B). Após o período de sombreamento, apesar do IAF ter sido menor (Figura 1A), as plantas do ISFV interceptaram a radiação na mesma proporção daquelas plantas que não sofreram sombreamento

(Figura 2), sugerindo a ocorrência de uma resposta direta da cultura à redução da radiação incidente no dossel. Embora, neste trabalho, não tenham sido feitas medições, esta resposta pode ser devido à mudanças no ângulo de inclinação das folhas, de forma a permitir a incidência direta da luz na lâmina foliar, favorecendo a interceptação, conforme observado em outros trabalhos (BEGG & TORSELL, 1974; KENDRICK & FRANKLAND, 1981; THANISAWANYANGKURA et al., 1997).

Na fase vegetativa, embora apresentando diminuição de 52% (1997/98) e 57% (1998/99) na quantidade de radiação interceptada (Tabela 1), a soja do ISFV aumentou a EUR em mais de 15% (Tabela 2), em relação à soja que não sofreu nenhum estresse, em todo seu ciclo de vida (IPTP), ou seja, as perdas, na interceptação da radiação, impostas pelo sombreamento, foram parcialmente compensadas por um aumento em torno de 15% na EUR.

No experimento 1997/98, o estresse hídrico aplicado à fase vegetativa não alterou os mecanismos de interceptação da radiação, pois, os tratamentos IPTP e NIFV interceptaram a mesma quantidade de radiação fotossinteticamente ativa (Tabela 1); entretanto, a EUR da soja do NIFV foi 30% menor (Tabela 2). No segundo experimento (1998/99), o



F

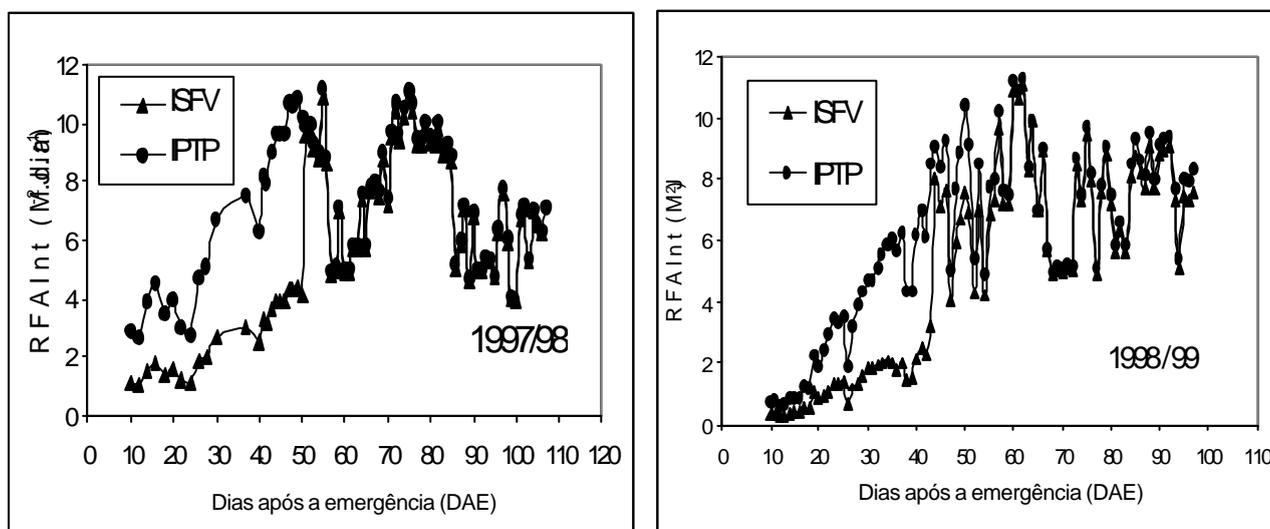
**Figura 1.** Variação do índice de área foliar (IAF) e da área específica (AEF), ao longo do ciclo de vida da soja (DAE), cultivada no ano agrícola de 1998/99.

NIFV interceptou 22% menos que o IPTP (Tabela 1) e a EUR caiu 6% (Tabela 2). Tais resultados diferem daqueles de outro estudo, realizado anteriormente, sobre a influência do estresse hídrico na quantidade de radiação interceptada e na EUR, o qual mostrou que, quando não-irrigada durante a fase vegetativa, a soja apresenta uma redução em torno de 45% na RFAInt, porém a EUR tem aumento de 40% (COSTA et al., 1999). Provavelmente, uma das razões para esta diferença sejam os diferentes níveis de estresse hídrico aplicado em cada experimento.

No ISFV, a quantidade de radiação fotossinteticamente ativa interceptada foi 51% e 45%

menor que a do NIFV, porém a EUR foi 41% e 22% maior nos experimentos de 1997/98 e 1998/99, respectivamente.

Na fase de florescimento das plantas sombreadas, em ambos os experimentos, observou-se uma redução na EUR, em torno de 20%, em relação às plantas do tratamento IPTP, já na fase de enchimento de grãos dessas plantas, a diminuição sobre a eficiência de uso da radiação solar foi mais acentuada, 27%, no ano 1997/98 e 54%, no ano 1998/99.



**Figura 2.** Variação da radiação fotossinteticamente ativa (RFA) diária, em MJ.m<sup>-2</sup>, interceptada pela soja cultivada nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99, nos tratamentos IPTP e ISFV.

**Tabela 2.** Poder de interceptação (PI, %) e eficiência do uso da radiação fotossinteticamente ativa incidente (EUR, g.MJ<sup>-1</sup>) em cada fase de desenvolvimento da soja cultivada nos anos agrícolas 1997/98 e 1998/99.

Períodos	IPTP				ISFV			
	1997/98		1998/99		1997/99		1998/99	
	PI (%)	EUR	PI (%)	EUR	PI (%)	EUR	PI (%)	EUR
FV <sup>1</sup>	52	1,07	35	1,30	55 (+5)	1,28 (+16)	31 (-16)	1,57 (+17)
FF <sup>2</sup>	95	1,58	91	2,10	94	1,17	82	1,67
FEG <sup>3</sup>	95	2,06	84	2,42	94	1,50	78	1,12
CC <sup>4</sup>	73	1,84	65	2,34	80 (+9)	1,40 (-24)	67 (-3)	1,16 (-50)

Períodos	NIFV				NIFF			
	1997/98		1998/99		1997/99		1998/99	
	PI (%)	EUR	PI (%)	EUR	PI (%)	EUR	PI (%)	EUR
FV <sup>1</sup>	52	0,75 (-30)	29 (-17)	1,22 (-6)	50 (-4)	1,30 (+18)	33 (-6)	1,37 (+5)
FF <sup>2</sup>	94	1,43	84	1,60	93	1,36	92	1,91
FEG <sup>3</sup>	95	1,54	87	1,75	95	2,02	86	2,43
CC <sup>4</sup>	73	1,46 (-21)	64 (-2)	1,72 (-26)	72 (-1)	1,67 (-9)	65	2,35

FV= fase vegetativa; FF = fase de florescimento; FEG = fase de enchimento de grãos; CC= ciclo completo.

PI = (RFAInt/RFAInc x 100%); (-) = % de redução e (+) = % de aumento do tratamento em questão em relação ao IPTP.

## Conclusões

A cultura da soja sob estresse de luz realiza modificações morfológicas, de forma que, mesmo sob um nível de radiação incidente reduzido (sombreamento), consegue interceptar um percentual (PI) da radiação incidente, semelhante ao da cultura não-sombreada. Uma vez que se constatou que, mesmo cultivada sob estresse de luz, a soja consegue compensar a redução do fluxo de luz por meio de um aumento na EUR, conclui-se que a capacidade da cultura da soja em aumentar a EUR, quando submetida à déficit hídrico na fase vegetativa, deve-se à diminuição da radiação interceptada pelas plantas, ocasionada pela diminuição da área foliar, e não a uma resposta direta ao estresse hídrico.

## Referências bibliográficas

- 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. **Revista Experimentiae**, Viçosa, v. 27, n. 10, p. 211-222, 1981.
- ÅNGSTRÖM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quarterly Journal Royal Meteorology Society**, London, v. 50, n. 10, p. 121-126, 1924.
- ARKEBAUER, T.J. et al. In defense of radiation use efficiency: a response to Demetriades Shah, T.H. Funchs, M.; Kanemasu, E.T., Flitcroft. I. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 68, p. 221-227, 1992.
- BAKER, D.N.; MAYER, R.E. Influence of stand geometry on light interception and net photosynthesis in cotton. **Crop Science**, New York, v. 6, p. 15-19, 1966.
- BALCKMAN, V.H. The compound law and plant growth. **Annals of Botany**, London, v. 33, p. 353-360, 1919.
- BEGG, J.E.; TORSSELL, 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.
- BRIGGS, G.E; KID,F.; WEST,C.A. A quantitative analysis of plant growth. Part I. **Annals of Applied Biology**, New York, v. 7, p. 103-123, 1920.
- BROUGHAM, R.W. The relationship between the critical leaf area, total chlorophyll content, and maximum growth rate of some pasture and crop plants. **Annals of Botany**, London, v. 24, p. 463-473, 1956.
- 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 Science**, London, v. 39, n. 1, p. 91-97, 1999.

- 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, 1973.
- DOORENBOS, J.; KASSAM, A.H. **Yield response to water.** Roma: FAO, 1979. 193 p. (FAO Irrigation and Drainage, 33).
- GREEN, C.F. Nitrogen nutrition and wheat growth in relation to absorbed radiation. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 41, p. 207-248, 1987.
- KENDRICK, R. E.; FRANKLAND, B. **Fitocromo e crescimento vegetal.** São Paulo: Editora Pedagógica e Universitária Ltda., 1981. 76 p.
- MONTEITH, J.L. Climate and the efficiency of crop production in Britain. Phil. **Transactions of the Royal Society**, London, v. 281, p. 277-294, 1977.
- MUCHOW, R.C. An analysis of the effects of water deficits on grain legumes grown in a semi-arid tropical environment in terms of radiation interception and its efficiency of use. **Field crops Resource**, Amsterdam, v. 11, p. 309-323, 1985.
- NICHIPROVICH, A.A. Properties of plant crops as an optical system. **Soviet Plant Physiology**, Moscow, v. 8, p. 428-435, 1962.
- PRÈSCOTT, J.A. Evaporation from water surface in relation to solar radiation. **Transactions of the Royal Society of South Australia**, Adelaide, v. 46, p. 114-118, 1940.
- SAEKI, T. Interrelationships between leaf amount, light distribution, and total photosynthesis in a plant community. **The Botanical Magazine**, v. 73, p. 55-63, 1960.
- SHIBES, R.M.; WEBER, C.R. Interception of solar radiation, and dry matter production by various ~~soybean planting patterns~~ **Crop Science**, New York, v. 6, p. 55-59, 1965.
- SINCLAIR, T.R.; SHIRAIWA, T. Soybean radiation-use efficiency as influenced by nonuniform specific leaf nitrogen distribution and diffuse radiation. **Crop Science**, New York, v. 33, p. 808-812, 1993.
- 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. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, 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. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 38, p. 217-229, 1986.
- THANISAWANYANGKURA, S. et al. Leaf orientation and sunlit leaf area distribution in cotton. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 86, p. 1-15, 1997.
- WAGGONER, P.E., BERGER, R.D. Defoliation, disease and growth. **Phytopathology**, St. Paul, v. 77, p. 393-398, 1987.
- WARREN, J.W. Inclined point quadrats. **New Phytology**, Cambridge, v. 59, p. 1-8, 1960.
- WILLIAMS, W.A.; LOOMIS, R.S.; LEPLEY, C.R. Vegetative growth of corn as affected by population density. I. Productivity in relation to interception of solar radiation. **Crop Science**, New York, v. 5, p. 221-215, 1965.