

CRESCIMENTO E CONVERSÃO DA ENERGIA SOLAR EM SOJA CULTIVADA SOB QUATRO NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR¹

ELENA MELGES², NEI F. LOPES³ e MARCO A. OLIVA⁴

RESUMO - O crescimento e a conversão da energia solar em soja (*Glycine max* (L.) Merr. cv. 'UFV'-2), sob quatro níveis de radiação solar incidente (30%, 50%, 70% e 100%), foram estudados em condições de campo. As colheitas de material foram realizadas em intervalos regulares de 14 dias. As taxas de crescimento da cultura decresceram com a redução da radiação solar, sendo as diferenças devidas a menores taxas assimilatórias líquidas e a menores índices de área foliar nas plantas sombreadas. A taxa assimilatória líquida e a taxa de crescimento relativo declinaram tanto com a ontogenia como com a redução da radiação solar. A razão de área foliar aumentou com sombreamento, devido principalmente às variações na área foliar específica, uma vez que a razão de peso foliar não apresentou alteração sensível. A eficiência de conversão da energia solar aumentou com o sombreamento e decresceu com a ontogenia das plantas. As eficiências máximas de conversão da energia solar foram 1,70%, 1,65%, 1,91% e 2,26% para 100%, 70%, 50% e 30% da luz solar incidente. Os valores da eficiência média de conversão da energia solar foram 0,33%, 0,48%, 0,45% e 0,59% em ordem decrescente de densidade do fluxo de luz.

Termos para indexação: *Glycine max*, radiação solar, condições de campo, luz solar, taxas de assimilação.

GROWTH AND SOLAR ENERGY CONVERSION IN SOYBEANS GROWN UNDER FOUR SOLAR RADIATION LEVELS

ABSTRACT - Growth and efficiency of solar energy conversion were studied in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) cv. UFV-2 grown under four levels (30%, 50%, 70% and 100%) of solar radiation incidence under field conditions. Plant samples were collected every 14 days regularly. Crop growth rates decreased with reduction of solar radiation, and these differences were due to reduced net assimilation rates and to smaller leaf areas presented by shaded plants. Net assimilation rate and relative growth rate declined with ontogeny as well as with reduction of solar radiation. The leaf area ratio increased with shading, mainly due to variations in specific leaf area, because leaf weight ratio did not change significantly. The efficiency of solar energy conversion increased with shading and decreased with plant ontogeny. Maximum efficiencies of solar energy conversion were 1.70%, 1.65%, 1.91% and 2.26% for the 100%, 70%, 50% and 30% light treatments. The average efficiency of solar energy conversion throughout the entire crop cycle was of 0.33%, 0.48%, 0.45% and 0.59% for the decreasing light levels.

Index terms: *Glycine max*, light levels, field conditions, sunlight, assimilation rates.

INTRODUÇÃO

Em condições de campo, a taxa fotossintética máxima e a fotossaturação da soja relacionam-se com a densidade do fluxo radiante sob o qual as plantas estão crescendo. Desse modo, plantas cultivadas sob maiores densidades do fluxo radiante apresentam maiores taxas fotossintéticas e ponto de saturação de luminosidade mais elevado que as cul-

vares sob menores níveis de luz (Burnside & Böhning 1957, Brun & Cooper 1967, Bowes et al. 1972, Crookston et al. 1975). Essas mudanças estão associadas com o aumento da atividade da ribulose bifsosfato carboxilase (Bowes et al. 1972, Singh et al. 1974, Crookston et al. 1975), com o decréscimo da resistência à difusão de CO₂ (Crookston et al. 1975) e com o aumento do peso foliar específico (Beuerlein & Pendleton 1971, Bowes et al. 1972, Singh et al. 1974), em plantas que crescem sob maiores níveis de luz. O ponto de fotossaturação da soja é aproximadamente igual à radiação sob a qual as plantas estão crescendo (Bowes et al. 1972), o que indica que a soja adapta-se à radiação do meio ambiente (Beuerlein & Pendleton 1971).

Provavelmente, a redução da taxa respiratória é o fator primário de ajustamento ao sombreamento. A taxa respiratória decresce com a redução da densidade do fluxo radiante (Yamaguchi 1978), em razão da redução no teor de assimilados e na atividade de

¹ Aceito para publicação em 18 de abril de 1988. Parte da tese apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Fisiologia Vegetal à UFV pelo primeiro autor.

² Bióloga, M.Sc., Prof.-Assist., Dep. de Biologia, Universidade Estadual de Maringá (UEM), CEP 87200 Maringá, PR.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof.-Adj., Dep. de Biologia Vegetal, Universidade Federal de Viçosa (UFV), CEP 36570 Viçosa, MG.

⁴ Biólogo, Dr. rer. nat., Prof.-Adj., Dep. de Biologia Vegetal, UFV.

enzimas, como a desidrogenase do malato (Crookston et al. 1975), bem como da diminuição da temperatura foliar (Wahua & Miller 1978). O sombreamento causa ainda diminuição na atividade da oxidase do glicolato, enzima da fotorrespiração (Crookston et al. 1975).

A área foliar é importante fator de produtividade de uma cultura, visto ser a principal causa da interceptação da luz solar. Embora alta produtividade esteja associada com alta área foliar, valores supra-ótimos desta podem reduzir a produção, em razão do auto-sombreamento, verificando-se, então, relação inversa entre índice de área foliar e taxa assimilatória líquida. Assim como a interceptação, a distribuição da luz no dossel é importante para a produtividade da soja (Sakamoto & Shaw 1967, Shaw & Weber 1967, Weber 1968).

Este trabalho teve como objetivo analisar a influência da densidade do fluxo radiante no crescimento e na conversão da radiação solar na cultura da soja, em um sistema agrônomico de plantio, e suas implicações na produtividade da cultura.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado no ano agrícola 1981/82, no município de Viçosa, MG. O terreno apresenta topografia plana, sendo o solo argiloso e de fertilidade média, classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Câmbico, fase terraço.

A área demarcada para a realização do experimento foram incorporados 200 kg/ha de calcário. Após o preparo do solo, a área foi sulcada, recebendo, nos sulcos, uma adubação básica, correspondente a 20 kg/ha de N, 100 kg/ha de P_2O_5 e 60 kg/ha de K_2O , na forma de sulfato de amônio, superfosfato simples e cloreto de potássio, respectivamente. A seguir, foi feita a semeadura da cultivar UFV-2, inoculado com cultura comercial de *Bradyrhizobium japonicum*.

O delineamento foi o de blocos ao acaso, com parcelas subdivididas, com três repetições. Cada parcela correspondia a uma época de coleta do material, sendo realizadas a intervalos regulares de catorze dias durante todo o ciclo da cultura, e era constituída de quatro subparcelas, correspondentes a quatro níveis de radiação solar (30%, 50%, 70% e 100%). Cada subparcela era formada de quatro fileiras de 3,0 m de comprimento, duas tidas como bordadura. O intervalo entre fileiras foi de 0,6 m. Nas coletas, desprezava-se 0,6 m nas extremidades, sendo a área útil de 2,16 m². O sombreamento artificial foi obtido com telas plásticas (sombrite 1003, 1005 e 1007) pretas, que propiciaram 30%, 50% e 70% de redução da radiação solar incidente. As telas foram pregadas em armações de madeira, o que possibilitou sua elevação à medida que as plantas cresciam. O sombreamento foi aplicado no sexto dia após o plantio, data da emergência das plantas.

Em cada coleta, na área útil, as plantas eram cortadas rente ao solo. A seguir, foram levadas a uma estufa de venti-

lação forçada, à temperatura de 75°C. As raízes foram retiradas em blocos de terra e, depois, lavadas sobre peneiras. A seguir, foram levadas à estufa, para determinação de sua matéria seca. A área foliar foi estimada por amostragem, em cada subparcela. Os folíolos foram desenhados sobre papel, e sua área, determinada por planimetria. Com base no peso da matéria seca da amostra e da matéria seca total das folhas, foi calculada a área foliar.

Os dados primários de matéria seca total (W_t) e área foliar (A_f) foram submetidas a análise de variância. Curvas logísticas de crescimento foram ajustadas por um programa interativo, para minimizar a variância residual. A equação logística empregada foi $W_t = W_m / (1 + Be^{-Ct})$, sendo W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo, t os dias de crescimento, e B e C constantes de ajustamento. Regressão curvilínea das médias de A_f acumulada em cada coleta foi efetuada com emprego de polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos valores de A_f observados, de acordo com Richards (1969).

Para determinar os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca (C_t) e da taxa de crescimento de área foliar (C_A), empregaram-se as derivadas das equações ajustadas ao peso da matéria seca (W_t) e área foliar (A_f), em relação ao tempo (Radford 1967, Richards 1969).

Nos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo (R_w) e da taxa assimilatória líquida (E_A) foram utilizadas as equações $R_w = C_t/W_t$ e $E_A = C_t/A_f$. A razão de área foliar (F_A), razão de peso foliar (F_w) e área foliar específica (S_A) foram obtidas pelas fórmulas $F_A = A_f/W_t$; $F_w = W_t/W_f$ e $S_A = A_f/W_f$.

A eficiência da conversão da energia solar (ϵ) foi determinada pela equação $\epsilon \% = (100 \times C_t \times \delta) / R_a$, na qual R_a representa o valor médio diário da radiação solar total incidente, em cal.m⁻².dia⁻¹, registrada nos cinco dias anteriores ao C_t correspondente. O valor calorífico (δ) utilizado foi determinado por meio de uma bomba calorimétrica. Para obter esse valor, foram realizadas análises de amostras dos quatro tratamentos, aos 42 dias (fase vegetativa) e aos 126 dias após a emergência (fase reprodutiva). Como a diferença entre os valores determinados para as épocas e tratamentos não foi significativa, utilizou-se o valor calorífico médio de 4460 ± 102 cal.g⁻¹.

A radiação solar total incidente foi obtida com um solarímetro Kipp-Zonen, modelo CM6, acoplado a um milivoltímetro registrador. As temperaturas médias, bem como a umidade relativa do ar, foram registradas por um termômetro-grago Lambrecht modelo 252. Todos esses dados meteorológicos foram registrados no próprio local do experimento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O comportamento da taxa de produção de matéria seca total (C_t) pode ser observado na Fig. 1. Os valores máximos de C_t obtidos neste trabalho foram de 9,84, 6,66, 5,72 e 3,74 g.m⁻². dia⁻¹, em ordem decrescente do nível de radiação. Tais valores foram alcançados aos 57, 62, 55 e 54 dias após a emergência, apresentando a maior amplitude de curvas nesse intervalo de tempo. A taxa máxima registrada para soja é de 17,2 g.m⁻².dia⁻¹, para uma população de 32

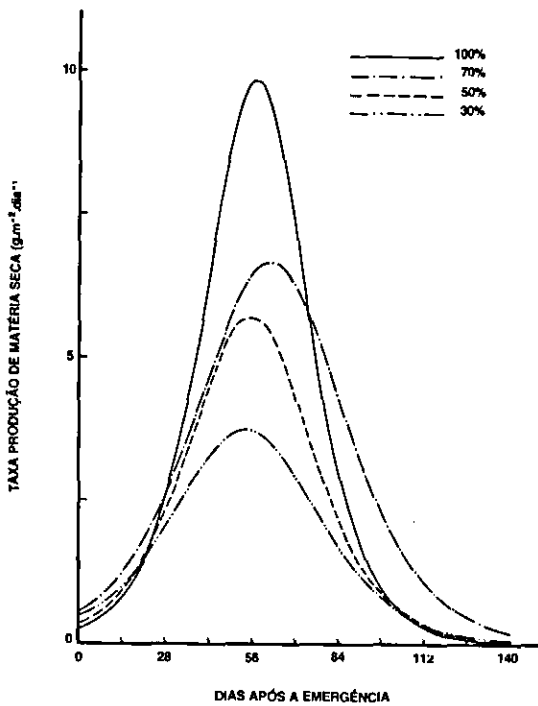


FIG. 1. Taxa de produção de matéria seca total de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

plantas.m⁻² (Buttery 1970). Ainda, Köller et al. (1970) obtiveram uma taxa máxima de 18 g.m⁻².dia⁻¹, para uma densidade de 24 plantas.m⁻².

A taxa de produção de matéria seca total (C_t) de uma cultura depende, fundamentalmente, do índice de área foliar (L) e da sua taxa assimilatória líquida (E_A). No presente experimento, E_A foi o fator de maior importância na determinação de C_t até aproximadamente 65 dias após a emergência, sob todos os níveis de radiação. A partir dessa data, foi superpujada pelos valores de L. Portanto, a diferença de amplitude entre as curvas de C_t deve-se aos valores atingidos de radiação solar. Os maiores valores de C_t no nível de 70%, a partir do 75º dia após a emergência, foram devidos aos maiores L, evidenciando sua importância nessa fase do crescimento da cultura. Milthorpe (1956) dá ênfase à importância do desenvolvimento da área foliar como fator que influi na taxa de crescimento e minimiza a importância da taxa fotossintética. Entretanto, Stoy (1963) salienta que a taxa fotossintética pode ser muito importante na determinação das taxas de crescimento.

A tendência do índice de área foliar (L) está representada na Fig. 2, cujos valores máximos foram alcançados em torno do 91º dia após a emergência, nos níveis de 70% e 50% de radiação solar, e no 98º dia, nos níveis de 100% e 30%. Em ordem decrescente da densidade do fluxo de radiação, os valores máximos de L foram de 2,8, 2,9, 2,5 e 2,3. O L máximo registrado no nível de 100% foi inferior ao relatado por Köller et al. (1970), que utilizaram menor densidade populacional. L foi reduzido em decorrência de uma parcial desfolha efetuada por insetos, fato mais agravado nas plantas sombreadas. L progrediu de modo similar a C_t , mas não houve correspondência entre os valores máximos desses dois parâmetros de crescimento. Comparando as curvas de L e C_t , verifica-se que os valores máximos de L não foram os valores ótimos para a produção de matéria seca.

O decréscimo de L nas plantas sombreadas foi devido principalmente ao menor número de folhas dessas plantas (Melges 1983). Como A_f depende do tamanho e número de folhas, neste experimento o número de folhas foi o principal componente de A_f . Desse modo, a maior área individual não compensou os efeitos do número de folhas na determinação de A_f . A maior área apresentada pelas plantas cultivadas sob 70% de radiação solar, a partir do 80º dia

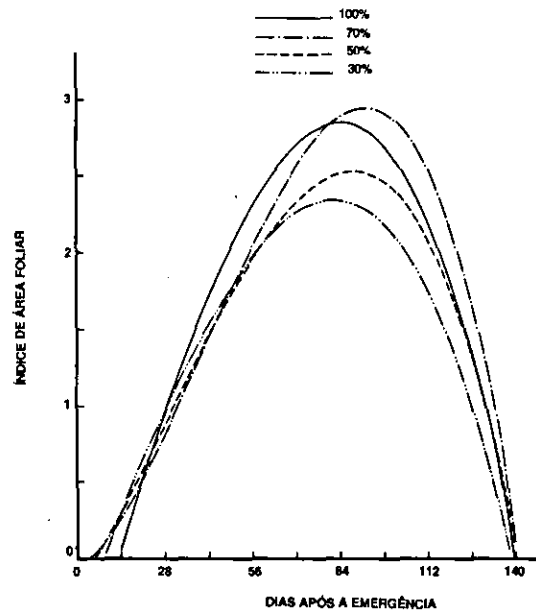


FIG. 2. Índice de área foliar de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

após a emergência, evidencia, contudo, a importância da área de cada folha na determinação da A_f total, visto que o número de folhas, nesse nível, sempre se manteve menor, exceto na última coleta. No entanto, plantas de soja e feijão cultivadas sob sombreamento apresentaram aumento (Allen Júnior 1975, Lopes et al. 1982) ou redução da A_f (Crookston et al. 1975). Plantas de cevada (Singh 1978) apresentam A_f similar sob vários níveis de radiação solar, porque o aumento da área de cada folha compensa o decréscimo do número de folhas nas plantas sombreadas.

A tendência de variação da taxa de crescimento do índice de área foliar (C_A) é mostrada na Fig. 3. Observa-se que as plantas cultivadas sob os dois menores níveis de radiação solar apresentaram taxas maiores que as das plantas cultivadas sob 70% de radiação solar até o 30º dia após a emergência, o que indica, provavelmente, tentativa de adaptação às condições do meio ambiente. Desse modo, plantas cultivadas sob baixo nível de radiação solar procuram a expansão máxima da superfície foliar, para que possam captar com maior eficiência a radiação solar disponível. Nos dias subsequentes, os maiores níveis de radiação solar propiciaram obtenção de C_A mais elevados. Observou-se rápido decréscimo de C_A no nível de 100%, o que indica rápida senescên-

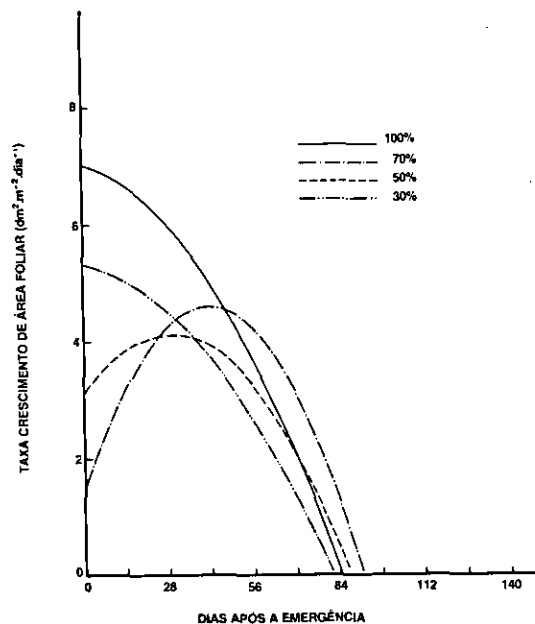


FIG. 3. Taxa de crescimento da área foliar de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

cia foliar. C_A vai diminuindo, com a ontogenia das plantas, aproximando-se da senectude; antes, porém, atinge valores mínimos, em pleno processo de enchimento de sementes. C_A apresentou valores negativos, a partir do 85º, 92º, 88º e 82º dia após a emergência, em ordem decrescente de radiação solar, o que indica predominância da senescência foliar sobre o desenvolvimento de novas folhas.

Houve uma tendência de os maiores níveis de radiação solar propiciarem valores superiores à taxa assimilatória líquida (E_A) (Fig. 4). Como E_A é um índice fisiológico estreitamente ligado à fotossíntese (Evans 1972), valores inferiores de E_A nas plantas sombreadas foram resultado do decréscimo das taxas fotossintéticas líquidas dessas plantas. Decréscimo de E_A em plantas que receberam menor radiação solar foi observado em alfafa e cornichão (Cooper 1966), em soja (Rocha et al. 1970) e em feijão (Lopes et al. 1982). Os valores da E_A foram maiores durante a fase vegetativa, decrescendo na fase reprodutiva, fato também observado por Köller et al. (1970) e Scott & Batchelor (1979). Esse resultado era esperado, visto que UFV-2 é uma cultivar de hábito de crescimento determinado e A_f decresce rapidamente durante a fase de enchimento de sementes. Buttery (1969) atribui o declínio de E_A ao aumento do auto-sombreamento, à formação de sementes e à

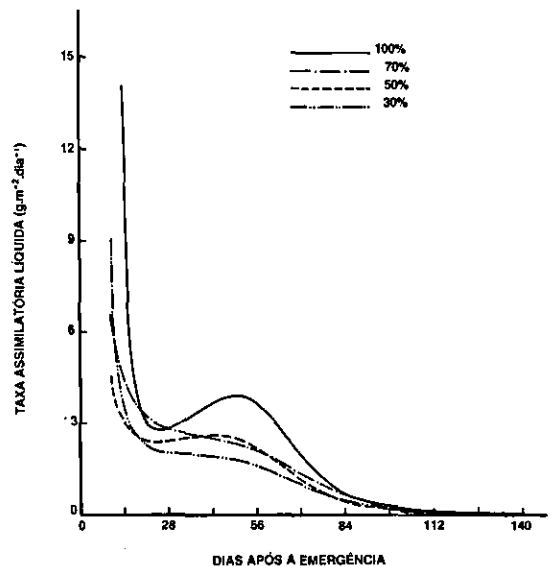


FIG. 4. Taxa assimilatória líquida de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

senescência foliar. No entanto, Köller et al. (1970) observaram um aumento de E_A durante a fase de crescimento das sementes, o que foi interpretado como um aumento da fotossíntese, em razão da maior demanda de fotoassimilados para o rápido crescimento das sementes. Neste experimento, E_A teve um ligeiro aumento no período da floração, o que pode ser interpretado como um rápido acúmulo de W_t por meio de altos C_t (Fig. 1), em relação ao aumento de L (Fig. 2), uma vez que E_A representa a taxa de acúmulo de matéria seca total por área foliar. Verificou-se, também, que os declínios nos valores de E_A foram mais rápidos que os aumentos de L , o que está de acordo com observações de Buttery (1970).

O valor máximo de E_A no nível de 100% foi de $14,0 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, superior ao relatado por Köller et al. (1970), que foi de $8,5 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ aos 30 - 35 dias. Nesse período, E_A apresentou valores em torno de $3,2 \text{ g.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$. O valor médio de E_A entre o 20º e o 37º dia após o plantio foi inferior à média obtida por Buttery & Buzzell (1972), em diversas cultivares, nesse mesmo período.

A Fig. 5 mostra a tendência da taxa de crescimento relativo (R_W), isto é, $E_A \times F_A$, sob os quatro níveis de radiação solar. Observa-se que os valores são relativamente altos, decrescendo rapidamente até

o 65º dia após a emergência, quando as curvas passam a ser semelhantes. Após essa data, o declínio continua, mas lentamente, até o final do experimento, apresentando sempre, porém, valores positivos. Observa-se uma tendência de os maiores níveis de radiação solar propiciarem valores mais altos de R_W , fato também observado, em soja, por Rocha et al. (1970). No entanto, Lopes et al. (1982), trabalhando com feijão, em casa de vegetação, observaram ligeiro aumento no R_W de plantas sombreadas. A taxa máxima foi de $0,10 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, no nível de 100%, aproximando-se bastante dos R_W máximos relatados por Köller et al. (1970) e Scott & Batchehor (1979), $0,13 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$ e $0,17 \text{ g.g}^{-1}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. O aumento de R_W no nível de 50%, em relação ao nível de 70%, foi, possivelmente, devido à grande diferença na razão de área foliar (F_A), aproximadamente até o 50º dia após a emergência (Fig. 6). A forte tendência de decréscimo dos valores de R_W com a ontogenia das plantas é resultado, em parte, do aumento gradativo de tecidos não assimilatórios (Williams 1946).

A razão de área foliar (F_A), característica de crescimento que representa o tamanho da superfície assimilatória em relação ao W_t , apresentou valores mais elevados em plantas submetidas a sombreamento (Fig. 6). Isso se deve à grande redução de W_t

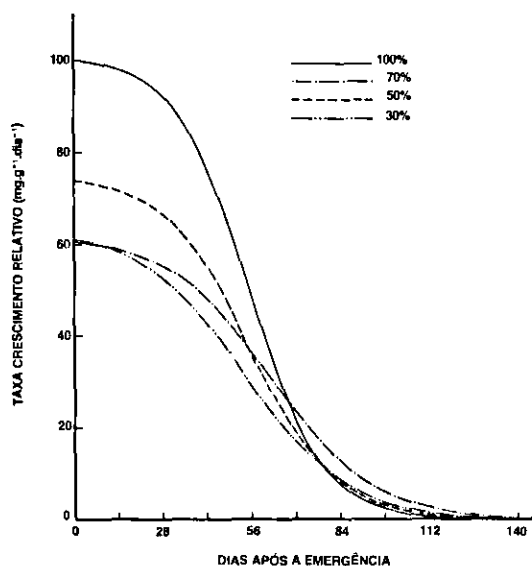


FIG. 5. Taxa de crescimento relativo de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

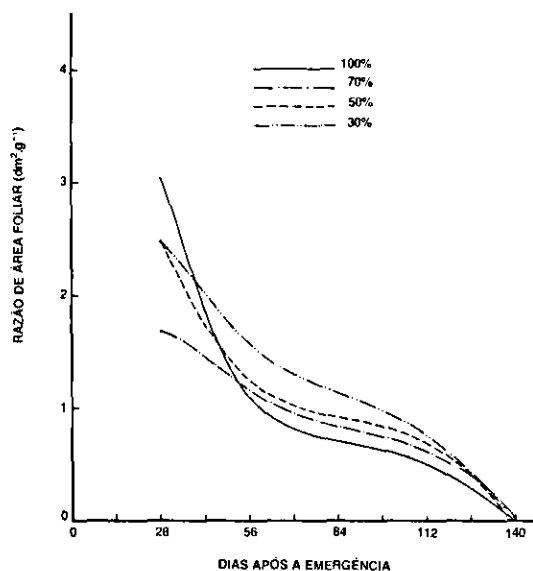


FIG. 6. Razão de área foliar de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

nas plantas sombreadas. Resultados semelhantes foram relatados para alfafa e cornichão (Cooper 1966), soja (Rocha et al. 1970) e feijão (Lopes et al. 1982). F_A apresentou forte tendência de decréscimo à medida que as plantas envelheciam. Esse declínio progressivo indica aumento na queda de folhas e, também, que menor quantidade de assimilados é destinada à produção de folhas, mesmo quando L aumenta (Scott & Batchelor 1979). Os valores máximos obtidos neste experimento no maior nível de radiação foram superiores aos registrados por Köller et al. (1970), Rocha et al. (1970), Kaplan & Köller (1977) e Scott & Batchelor (1979). Plantas que apresentaram baixo F_A têm dreno mais ativo para seus produtos de assimilação. Desse modo, baixo F_A favorece a obtenção de altas taxas fotossintéticas (Buttery & Buzzel 1972).

A tendência da razão de peso foliar (F_W) é mostrada na Fig. 7. Observa-se que até o 50º dia após a emergência as plantas cultivadas sob 100% e 50% de radiação apresentaram valores maiores. A partir dessa data, praticamente não houve diferença entre os valores, sob os quatro níveis de radiação. O sombreamento aumenta F_W em cevada (Singh 1978), mas apresenta valores semelhantes, sob todos os níveis de radiação, em alfafa e cornichão (Cooper

1966) e feijão (Lopes et al. 1982). Os valores de F_W decresceram com a ontogenia das plantas, e o valor máximo obtido no nível de 100% foi ligeiramente superior aos relatados por Köller et al. (1970), Kaplan & Köller (1977) e Scott & Batchelor (1979).

A área foliar específica (S_A) mostrou ser característica mais plástica (Fig. 8). Essa característica apresentou valores mais elevados à medida que a radiação solar foi reduzida. Resultados semelhantes foram obtidos em alfafa e cornichão (Cooper 1966) e feijão (Lopes et al. 1982). Esse aumento resulta do aumento da superfície das células do mesófilo por unidade de área foliar (Nobel et al. 1975), o que ocasiona alta razão superfície/volume dentro das folhas (Dornhoff & Shibles 1970). Essas alterações reduzem a resistência do mesófilo ao fluxo de CO_2 (Nobel et al. 1975), possibilitando a obtenção de maiores taxas fotossintéticas (Pearce et al. 1969, Dornhoff & Shibles 1970). O aumento de S_A em plantas sombreadas denota o auto-ajustamento da planta para captar o máximo da energia solar disponível para a assimilação clorofiliana. O decréscimo de S_A durante o crescimento indica que as folhas não se expandem às mesmas taxas, quando o crescimento progride (Scott & Batchelor 1979). Os valores máximos de S_A obtidos por Köller et al. (1970),

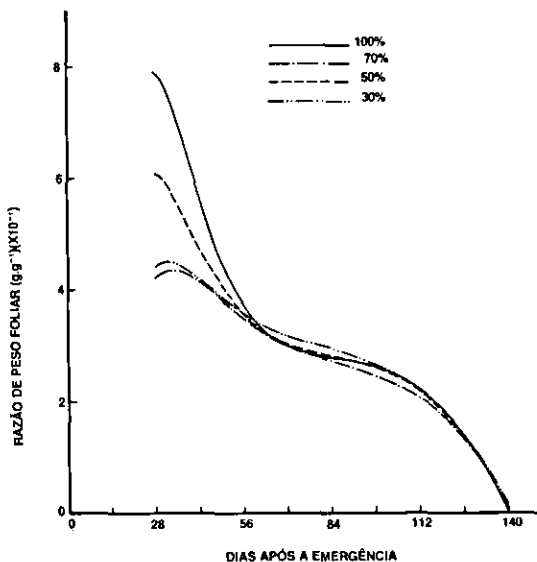


FIG. 7. Razão de peso foliar de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

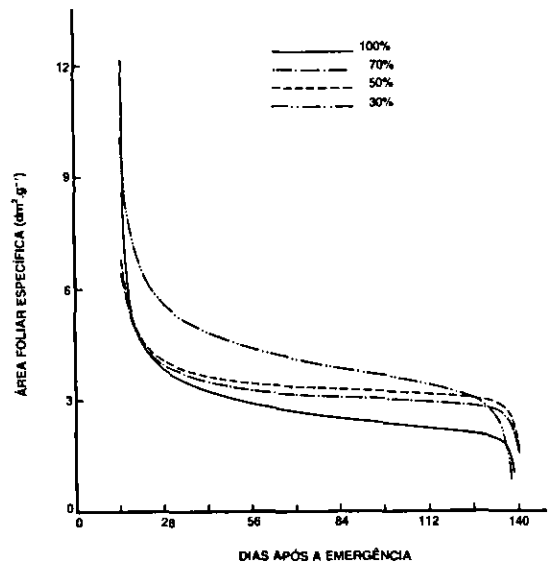


FIG. 8. Área foliar específica de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

que estiveram em torno e $3,0 \text{ dm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$, assemelham-se aos obtidos neste trabalho no período compreendido entre o 56º e 98º dia após a emergência.

A eficiência de conversão da energia solar (ϵ) aumentou com a redução da radiação solar (Fig. 9).

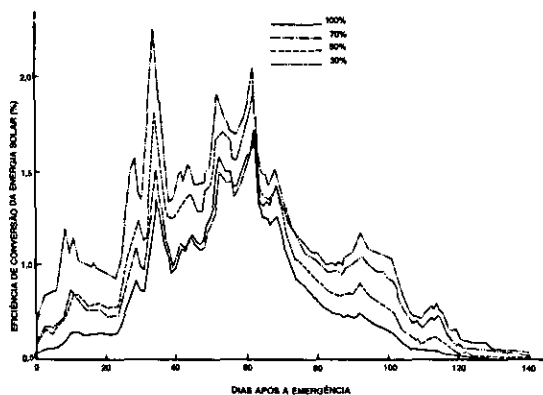


FIG. 9. Eficiência de conversão da energia solar em plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

Tal aumento está de acordo com resultados obtidos com feijão (Lopes et al. 1982). As curvas de ϵ mostraram-se irregulares, possivelmente por causa das grandes oscilações da radiação solar entre os dias, bem como das transformações morfológicas sofridas pelas plantas. Os altos valores de ϵ entre o 33º e 36º dia após a emergência, sob todos os níveis de radiação, devem-se à baixa radiação incidente nesse período. Os valores máximos de ϵ foram de 1,70%, 1,65%, 1,91% e 2,26%, enquanto as eficiências médias durante o ciclo da soja foram 0,33%, 0,48%, 0,45% e 0,59%, em ordem decrescente de radiação solar. O nível de 70% apresentou valor médio superior ao nível de 50%, em decorrência dos maiores valores de C_t a partir do 69º dia após a emergência (Fig. 1). O valor máximo de ϵ no nível de 100% foi de 1,7%, obtido aos 63 dias após a emergência. Esse valor é inferior ao estimado por Ojima & Kawashima (1968), citados por Murata (1981), que encontraram que a soja pode converter 3,6% da radiação solar incidente, em condições de campo. Provavelmente, as oscilações da radiação solar contribuíram para a redução de ϵ . O declínio de ϵ a partir do 63º dia após a emergência, sob todos os níveis de radiação solar, provavelmente foi causado por alterações no metabolismo das folhas inferiores, em que as taxas de degradação começam a ser maiores que as de

síntese. Assim, a eficiência do aparelho fotossintético vai declinando à medida que o sistema biológico envelhece.

CONCLUSÕES

1. As taxas de crescimento da cultura diminuiram com a redução da radiação solar, ocasionadas por menores taxas assimilatórias líquidas e por menores áreas foliares das plantas sombreadas.

2. A taxa assimilatória líquida e a taxa de crescimento relativo declinaram tanto com a ontogenia como com o sombreamento.

3. A razão de área foliar aumentou com a redução da radiação solar, devido principalmente ao incremento na área foliar específica, uma vez que o sombreamento não alterou significativamente a razão de peso foliar.

4. A eficiência da conversão da energia solar aumentou com o sombreamento e decresceu com a ontogenia das plantas.

5. As eficiências máximas de conversão da energia solar foram de 1,70%, 1,65%, 1,91% e 2,26%, sendo que as eficiências médias para todo o ciclo da cultura foram de 0,33%, 0,48%, 0,45% e 0,59%, em ordem decrescente de nível de luz.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Pesquisa (CNPq) pelo suporte financeiro a este trabalho.

REFERÊNCIAS

- ALLEN JÚNIOR, L.H. Shade-cloth microclimate of soybeans. *Agron. J.*, 67:175-81, 1975.
- BEURLEIN, J.E. & PENDLETON, J.W. Photosynthetic rates and light saturation curves of individual soybean leaves under field conditions. *Crop Sci.*, 11:217-9, 1971.
- BOWES, G.; OGREN, W.L.; HAGEMAN, R.H. Light saturation, photosynthesis rate, RuDP carboxylase activity, and specific leaf weight in soybeans grown under different light intensities. *Crop Sci.*, 12:77-9, 1972.
- BRUN, W.A. & COOPER, R.L. Effects of light intensity and carbon dioxide concentration on photosynthetic rate of soybean. *Crop Sci.*, 7:451-4, 1967.

- BURNSIDE, C.A. & BÖHNING, R.H. The effect of prolonged shading on the light saturation curves of apparent photosynthesis in sun plants. *Plant Physiol.*, **32**:61-3, 1957.
- BUTTERY, B.R. An analysis of the growth of soybeans as affected by plant population and fertilizer. *Can. J. Plant Sci.*, **49**:675-84, 1969.
- BUTTERY, B.R. Effects of variation in leaf area index on growth of maize and soybeans. *Crop Sci.*, **10**:9-13, 1970.
- BUTTERY, B.R. & BUZZELL, R.I. Some differences between soybean cultivars observed by growth analysis. *Can. J. Plant Sci.*, **52**:13-20, 1972.
- COOPER, C.S. Response of birdsfoot trefoil and alfalfa to various levels of shade. *Crop Sci.*, **6**:63-6, 1966.
- CROOKSTON, R.K.; TREHARNE, K.J.; LUDFORD, P.; OZBUN, J.L. Response of beans to shading. *Crop Sci.*, **15**:412-6, 1975.
- DORNHOFF, G.M. & SHIBLES, R.M. Varietal differences in net photosynthesis of soybean leaves. *Crop Sci.*, **10**:42-5, 1970.
- EVANS, G.C. *The Quantitative Analysis of Plant Growth*. Berkeley, University of California Press, 1972. 734p.
- KAPLAN, S.L. & KÖLLER, H.R. Leaf area and CO₂-exchange rate as determinants of the rate of vegetative growth in soybean plants. *Crop Sci.*, **17**:35-8, 1977.
- KÖLLER, H.R.; NYQUIST, W.E.; CHORUSH, I.S. Growth analysis of the soybean community. *Crop Sci.*, **10**:407-12, 1970.
- LOPES, N.F.; OLIVA, M.A.; FREITAS, J.G.; MELGES, E.; BELTRÃO, N.E.M. Análise de crescimento e conversão da energia solar em feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) submetido a três níveis de densidades do fluxo radiante. *R. Ceres*, **29**(166):586-606, 1982.
- MELGES, E. *Crescimento, conversão da energia solar e nodulação da soja (Glycine max (L.) Merrill) sob quatro níveis de radiação solar, em Viçosa, Minas Gerais*. Viçosa, UFV, 1983. 78p. Tese Mestrado.
- MILTHORPE, F.L. The relative importance of the different stages of leaf growth in determining the resultant area. In: MILTHORPE, F.L. ed. *The Growth of Leaves*. London, Butterworths Scientific Publications, 1956. p.141-50.
- MURATA, Y. Dependence of potential productivity and efficiency for solar energy utilization on leaf photosynthetic capacity in crop species. *Japan. J. Crop Sci.*, **50**:233-32, 1981.
- NOBEL, P.S.; ZARAGOZA, L.J.; SMITH, W.K. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate, and illumination level during development of *Plectranthus parviflorus* Henckel. *Plant Physiol.*, **55**:1067-70, 1975.
- PEARCE, R.B.; CARLSON, G.E.; BARNES, D.K.; HART, T.H.; HANSON, C.H. Specific leaf weight and photosynthesis in alfalfa. *Crop Sci.*, **9**:423-6, 1969.
- RADFORD, P.J. Growth analysis formulae - Their use and abuse. *Crop Sci.*, **7**:171-5, 1967.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. ed. *Plant physiology: a treatise*. New York, Academic Press, 1969.
- ROCHA, H.M.; ALVIM, P. de T.; DÖBEREINER, J. Influência da intensidade da radiação solar sobre o crescimento e a fixação simbiótica do nitrogênio pela soja. *Turrialba*, **20**:293-8, 1970.
- SAKAMOTO, C.M. & SHAW, R.H. Light distribution in field soybean canopies. *Agron. J.*, **59**:7-9, 1967.
- SCOTT, H.D. & BATCHELOR, J.T. Dry weight and leaf area production rates of irrigated determinate soybeans. *Agron. J.*, **71**:776-82, 1979.
- SHAW, R.H. & WEBER, C.R. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. *Agron. J.*, **59**:155-9, 1967.
- SINGH, B.P. Effect of shade growth of spring barley. *Phyton*, **36**:53-60, 1978.
- SINGH, M.; OGREN, W.L.; WIDHOLIM, J.M. Photosynthetic characteristics of several C₃ and C₄ plant species grown under different light intensities. *Crop Sci.*, **14**:563-6, 1974.
- STOY, V. The translocation of C¹⁴ - labelled photosynthetic products from the leaf to the ear in wheat. *Physiol. Plant.*, **16**:851-66, 1963.
- WAHUA, T.A.T. & MILLER, D.A. Effects of shading on the N₂ - fixation, yield, and plant composition of field-grown soybeans. *Agron. J.*, **70**:387-92, 1978.
- WEBER, C.R. Physiological concepts for high soybean yields. *Fld Crop Abstr.*, **21**:313-7, 1968.
- WILLIAMS, R.F. The physiology of plant growth with special reference to the concept of net assimilation rate. *Ann Bot.*, **10**:41-72, 1946.
- YAMAGUCHI, J. Respiration and the growth efficiency in relation to crop productivity. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.*, **59**:59-129, 1978.