

CRESCIMENTO, PRODUÇÃO DE MATÉRIA SECA E PRODUTIVIDADE DA SOJA SUBMETIDA A QUATRO NÍVEIS DE RADIAÇÃO SOLAR¹

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

RESUMO - Foram estudados, em condições de campo, o crescimento, a produção de matéria seca e a produtividade da soja (*Glycine max* (L.) Merrill), sob quatro níveis de radiação solar incidente (30%, 50%, 70% e 100%). O crescimento apresentou três fases distintas: A inicial - da germinação à floração -, na qual o crescimento foi relativamente lento; a intermediária - entre a floração e o início do enchimento das sementes -, quando o crescimento foi acelerado; e a final - fase do desenvolvimento das sementes -, em que o crescimento voltou a ser muito lento, com tendência a atingir um patamar. O sombreamento reduziu o acúmulo de matéria seca na planta e nos seus órgãos. Os valores máximos da produção de matéria seca dos órgãos foram atingidos em torno do 92º dia para as folhas, 104º para as raízes, independentemente do nível de luz; no caule ao 103º dia a meia e plena radiação, e ao 108º dia após a emergência, nos níveis de 30% e 70% da luz incidente. Houve uma defasagem de dez a quinze dias entre os crescimentos máximos do caule e folha. A matéria seca acumulada nos pericarpos e sementes aumentou vigorosamente até a colheita final nos maiores níveis de luz, e de forma lenta nos menores níveis de radiação incidente. Houve uma correlação linear ($R^2 = 0,97$) entre o rendimento de sementes e a biomassa. O sombreamento prolongou o período de acúmulo de matéria seca dos diversos órgãos, principalmente o período de maturação. A redução da radiação solar aumentou a razão parte aérea/sistema radicular, o acamamento de plantas e o aborto de flores e vagens. Já o índice de colheita não foi alterado pelos diferentes níveis de luz.

Termos para indexação: *Glycine max*, germinação, floração, enchimento de sementes, sombreamento.

GROWTH, DRY MATTER PRODUCTION AND PRODUCTIVITY OF SOYBEAN GROWN UNDER FOUR SOLAR RADIATION LEVELS

ABSTRACT - Growth, dry matter production and productivity of soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) grown under field conditions at four light levels (30%, 50%, 70% and 100% of sunlight) were studied. Soybean growth presented three distinct phases: Initial phase, from germination to flowering, in which growth was relatively slow; intermediate phase, between flowering and beginning of seed filling, when growth was accelerated; and, phase of seed development, when growth was very slow, with tendency of reaching a plateau. Shading reduced dry matter accumulation in the whole plant and its organs. Maximum dry weight productions of the organs were reached at the 92nd day for the leaves, at the 104th day for the roots, independently of light levels, at the 103rd day under half to full sunlight, and at the 108th day after emergence at 30% and 70% of sunlight for stems. There was a ten to fifteen-day difference between maximum stem and leaf growth. The dry matter accumulated in pericarps and seeds increased strongly until to final harvest in the highest light levels and slowly in the lowest light levels. There was a straight linear correlation ($R^2 = 0.97$) between yield and biomass. Shading extended the period of dry matter accumulation to all organs, mainly the maturation time. Solar radiation reduction increased shoot/root ratio, plant lodging and flower and pod drops. The harvest index was not modified by light levels.

Index terms: *Glycine max*, germination, flowering, seed filling, shading and light levels.

INTRODUÇÃO

As culturas têm um potencial máximo de produtividade. No entanto, o ambiente impõe uma série de limitações ao genótipo, e a produção, freqüentemente, é menor que o potencial (Weber 1968). Além

dos fatores genéticos, a produtividade de uma cultura depende das condições do solo e do clima, particularmente da radiação solar. A utilização da luz é o processo mais importante para a produtividade, porque é através da fotossíntese que a planta acumula matéria orgânica em seus tecidos.

O sombreamento artificial da soja evidencia redução da matéria seca e da produção de sementes (Shou et al. 1978, Wahua & Miller 1978, Trang & Giddens 1980). Altas densidades populacionais também reduzem o rendimento de sementes, por causa do auto-sombreamento (Pendleton et al. 1963). Portanto, há relação direta entre crescimento, produção e luz do meio ambiente.

¹ Aceito para publicação em 27 de abril de 1988.

Parte da tese apresentada para obtenção do Grau de Mestre em Fisiologia Vegetal à UFV pela autora.

² Bióloga, M.Sc., Prof. - Assist., Dep. de Biol., UEM. CEP 87200 Maringá, PR.

³ Eng. - Agr., Ph.D., Prof. - Adj., Dep. de Biol. Veg., UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

⁴ Biólogo, Dr. rer. nat., Prof. - Adj., Dep. de Biol. Veg., UFV, CEP 36570 Viçosa, MG.

Para maximizar a produtividade da soja, é de suma importância aumentar o período de enchimento das sementes, a eficiência da utilização da energia solar e a partição de assimilados para as sementes (Shibles & Weber 1966).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da redução da radiação solar sobre o crescimento, a produção de matéria seca e a produtividade da soja, em um sistema agrônomico de plantio.

MATERIAL E MÉTODOS

Plantas de soja da cultivar UFV-2 foram cultivadas em condições de campo e submetidas a 30%, 50%, 70% e 100% de exposição solar. As condições do experimento foram as descritas por Melges et al. (1989a)

As coletas foram efetuadas a intervalos regulares de catorze dias, durante todo o ciclo da cultura. Foram realizadas dez coletas, e a primeira foi realizada catorze dias após a emergência.

Em cada coleta, as plantas eram separadas em partes (folhas, caules com pecíolo, vagens e sementes). O sistema radicular era lavado sobre peneira, até a extinção total do solo aderente. A seguir, o material vegetal era secado em estufa de ventilação forçada, a 75°C, até peso constante.

Foram efetuadas as análises de variância e de regressão curvilínea das médias de peso da matéria seca acumulada nas raízes (W_r), caules (W_c) e folhas (W_f). Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos dados primários, de acordo com Richards (1969). Curvas logísticas foram ajustadas aos dados de matéria seca total (W_t) e de matéria seca acumulada nas vagens (W_v), por meio de um programa interativo para minimizar a variância residual. As equações empregadas foram $W_t = W_m/1 + Ae^{-Bt}$ e $W_v = W_m/1 + e^{A-Bt}$, sendo W_m a estimativa assintótica do crescimento máximo, A e B constantes de ajustamento, e t, o tempo, em dias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O acúmulo de matéria seca total (W_t) apresentou tendência logística sob todos os níveis de radiação (Fig. 1). O crescimento da soja apresentou três fases distintas: uma fase inicial, anterior à floração, quando o crescimento foi relativamente lento; uma intermediária, da floração (49º dia após a emergência sob todos os níveis de radiação solar) até o início do período de enchimento das sementes, quando o crescimento foi acelerado, sobretudo nas plantas cultivadas sob maior radiação solar incidente; e uma final, na qual ocorreu o desenvolvimento das sementes, quando o acréscimo na matéria seca foi muito lento e as curvas aproximaram-se de um patamar. As mesmas tendências foram observadas por Hanway & Weber (1971). Nota-se, no entanto, que nas plantas

cultivadas sob os níveis de 100% e 70% de radiação solar a fase de crescimento acelerado teve maior duração.

Há indicações de que a redução da taxa respiratória seja o fator primário de ajustamento ao sombreamento, ocorrendo um reajustamento no processo respiratório, relacionado com a radiação solar e com a temperatura foliar.

A respiração mitocondrial (R_D) pode ser separada em dois componentes: um, associado com a atividade de manutenção (R_M); e outro, ligado ao crescimento (R_G). McCree (1970) desenvolveu uma equação a partir de dados experimentais obtidos por troca gasosa, para plantas inteiras de trevo branco, $R_D = K P_G + cW$, sendo P_G a fotossíntese bruta, W a matéria seca da planta, e K e c constantes de ajustamento da equação. Penning De Vries (1972, 1975a,b) acoplou R_G à taxa de produção de matéria seca (C_t) e R_M ao tamanho da biomassa (W) (De Vit et al. 1970, Hesketh et al. 1971), o que originou a equação $R_D = G_R \frac{dW}{dt} + M_R W$, sendo G_R e M_R coeficientes respiratórios acoplados ao crescimento e à manutenção, respectivamente.

Com base nesses modelos, ocorreu, forçosamente, redução na taxa respiratória das plantas sombreadas, porque R_M está diretamente associado com W_t e R_G com C_t ou com a fotossíntese bruta (P_G). Como W_t e C_t foram menores nas plantas sombreadas, a taxa respiratória, forçosamente, deve ter decrescido. Em geral, ocorre decréscimo da respiração com a redução dos níveis de luz (Yamaguchi 1978). A respiração possivelmente decresce por causa da redução no teor de assimilados e do decréscimo na temperatura das plantas sob sombreamento, ou também por causa da redução na atividade da malato-desidrogenase (Crookston et al. 1975).

As diferenças na matéria seca acumulada nas folhas (W_f) entre os quatro níveis de radiação solar (Fig. 2) foram causadas principalmente pelo número de folhas, que diminuiu sensivelmente com a redução da radiação solar. Além disso, o peso individual de cada folha diminuiu com o decréscimo da radiação, contribuindo, igualmente, para o menor W_f das plantas sombreadas. Os valores máximos de W_f foram alcançados em torno do 92º dia após a emergência, sob todos os níveis de radiação. Observa-se que a tendência de queda desses valores foi mais acentuada nos maiores níveis de radiação. A redução da luz parece reduzir a longevidade das folhas somente quando a redução é severa (Wolledge 1972). A rápida senescência das folhas nos maiores níveis de radiação

foi, possivelmente, acelerada pelas maiores temperaturas da copa das plantas (Melges et al. 1989b), o que ocasionou encurtamento do ciclo da cultura. As folhas participaram, percentualmente, com valores elevados de W_f por ocasião das primeiras coletas, e caíram acentuadamente a partir do início do período reprodutivo, porque a senescência supera a emissão de novas folhas, e é acentuada a translocação de assimilados para o enchimento de sementes.

As curvas de matéria seca acumulada nos caules (W_C) (Fig. 3) apresentaram a mesma tendência de redução da matéria seca apresentada pelas folhas. Os valores máximos de W_C foram alcançados no 103º dia nos níveis de 100% e 50%, e em torno do 108º dia após a emergência, nos níveis de 70% e 30%. Nota-se que a queda de W_C foi mais acentuada no nível de 100%, acompanhando a rápida senescência foliar. É digna de nota a ocorrência de mais ou menos dez dias de intervalo entre os valores máximos de W_f e W_C , o que indica que os caules foram os drenos preferenciais, por algum tempo, dos assimilados das folhas, da mesma forma que as sementes o foram mais tarde, de forma definitiva e acentuada.

Os valores de matéria seca acumulada nas raízes (W_R) (Fig. 4) atingiram valores máximos por volta do 104º dia após a emergência, período coincidente com o máximo W_C . Observa-se que as plantas cultivadas sob maiores níveis de radiação solar apresentaram valores de W_R superiores aos das plantas cultivadas sob baixa radiação solar. Os dois maiores níveis de radiação apresentaram grande tendência de diminuição de valores após atingirem o máximo, talvez em razão da maior força de competição por assimilados entre os seus órgãos reprodutivos. Nos dois menores níveis de radiação, as raízes prolongaram mais o período de recebimento de assimilados, possivelmente em razão da menor capacidade mobilizadora (força do dreno) dos seus órgãos reprodutivos.

Houve leve tendência de as plantas sombreadas prolongarem o período de acúmulo de matéria seca nos diversos órgãos (Fig. 2, 3 e 4). No entanto, o sombreamento, neste experimento, prolongou, com maior evidência, o período de maturação, possivelmente porque o decréscimo da temperatura da copa das plantas desacelerou a senescência dos órgãos, propiciando maior período de translocação de assimilados para as sementes.

A tendência logística do acúmulo de matéria seca nas vagens (W_V) está representada na Fig. 5. Observa-se que houve uma tendência de redução de W_V com o decréscimo da radiação incidente, semelhantemente a W_f , W_C e W_R .

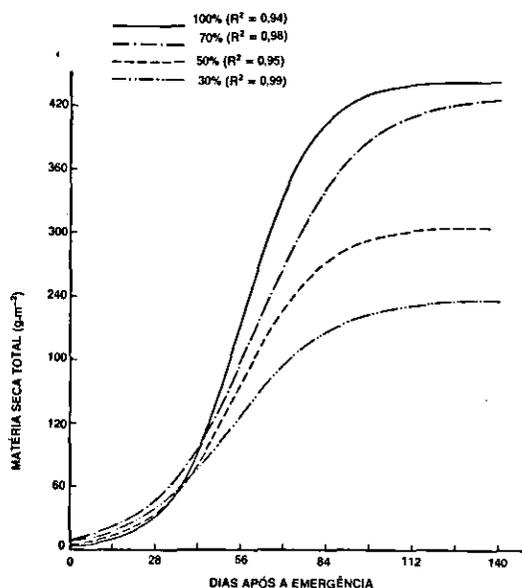


FIG. 1. Matéria seca total acumulada em plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

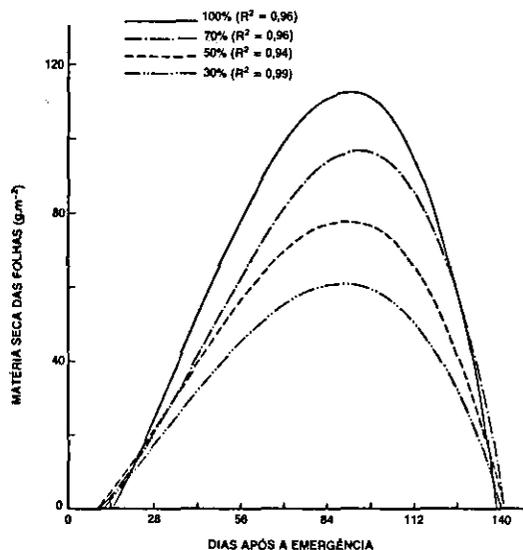


FIG. 2. Matéria seca acumulada nas folhas das plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

A matéria seca acumulada nas sementes (W_S) (Fig. 6) aumentou acentuadamente na última colheita, sob os dois maiores níveis de radiação solar, indicando rápida e acentuada translocação de assimilados dos pericarpos e outros órgãos para esse

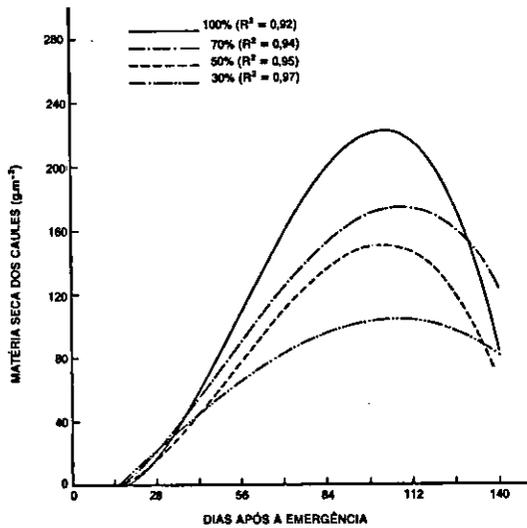


FIG. 3. Matéria seca acumulada nos caules de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

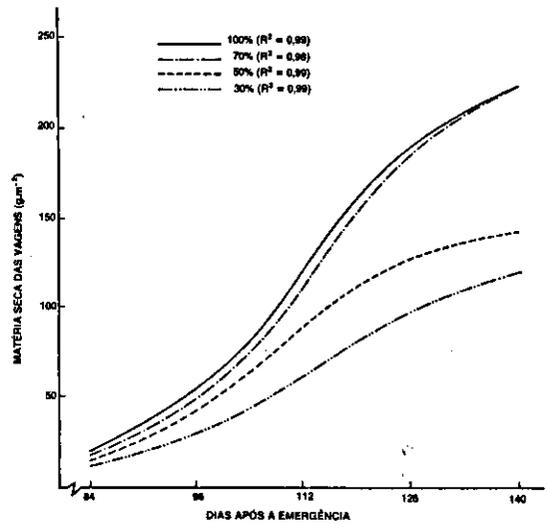


FIG. 5. Matéria seca acumulada nas vagens de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

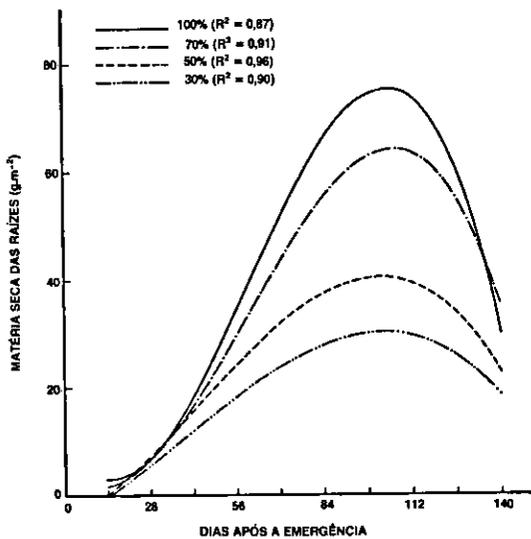


FIG. 4. Matéria seca acumulada nas raízes de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

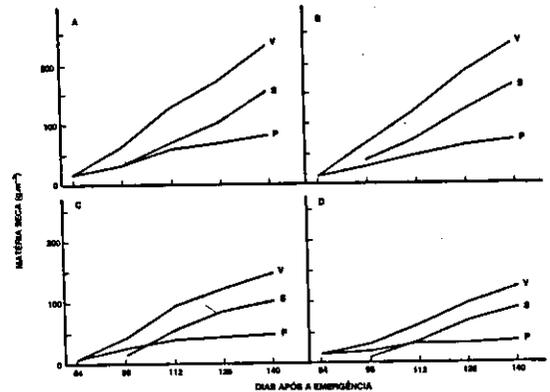


FIG. 6. Matéria seca das vagens e de suas partes em plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar incidente (A = 100%, B = 70%, C = 50% e D = 30%), sendo V = vagens, S = sementes e P = pericarpo.

dreno metabólico. Os pericarpos das plantas, nesses níveis, acumularam matéria seca até a última colheita, provavelmente porque suas plantas eram indivi-

dualmente mais vigorosas. No entanto, os pericarpos e as sementes das plantas cultivadas sob os níveis de 50% e 30% da radiação solar acumularam matéria seca de forma mais lenta, o que indica que menor quantidade de assimilados foi translocada para esses órgãos. Provavelmente, as plantas sombreadas seguiriam acumulando assimilados nas sementes, embora em taxas reduzidas, após o 140º dia da emer-

gência. Os assimilados poderiam ser mobilizados dos caules e pericarpos, que ainda estavam parcialmente verdes, porquanto as plantas, até essa data, não tinham atingido a maturidade de colheita.

É claramente assinalado o grande incremento de W_s a partir de seu aparecimento, em relação aos outros órgãos, mostrando, daí por diante, ser o dreno metabólico preferencial. Chama a atenção o fato de o nível de 70% de radiação solar apresentar valores levemente superiores aos do nível de 100%. Possivelmente, isso foi causado pela acelerada senescência das plantas não sombreadas, o que encurtou o período de enchimento de sementes, em relação ao nível de 70%. Segundo Shibles & Weber (1966), a maximização da produção de soja pode ser conseguida com o aumento desse período. Além disso, maior índice de área foliar (Melges et al. 1989b) das plantas cultivadas sob 70% de radiação solar, durante o enchimento das sementes, pode explicar a maior produção econômica. Watson (1956) sugere que a produção de grãos pode ser aumentada se a área foliar for mantida em níveis mais altos durante mais tempo.

Nos dois menores níveis de luz, a produção foi reduzida pelo menor número de vagens e pelo acamamento. A redução da radiação solar aumentou o acamamento e o aborto de flores e vagens, possivelmente por causa do baixo teor de açúcares nas folhas e de outras alterações no metabolismo das plantas (Weber 1968). A prevenção do acamamento de plantas de soja aumenta a produção de sementes em torno de 13% (Weber & Fehr 1966). Contudo, Shaw & Weber (1967) concluíram que a máxima penetração de luz ocorre com moderado acamamento, aumentando a produção dessa cultura.

A produção econômica de uma cultura depende da sua produção biológica e do índice de colheita. A Fig. 7, relacionando W_t e W_s , mostra haver linearidade entre esses dois parâmetros de crescimento. Em muitos casos, o rendimento de sementes é positivamente correlacionado com a biomassa (Garcia 1979, Johnson & Major 1979, Colasante & Costa 1981).

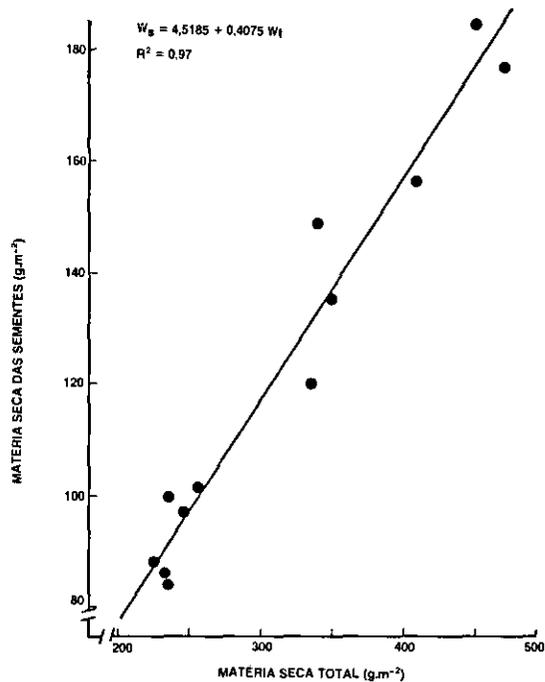


FIG. 7. Relação entre matéria seca total e matéria seca das sementes de plantas cultivadas sob quatro níveis de radiação solar.

Entretanto, alta produção biológica não significa necessariamente alto rendimento econômico (Shibles & Weber 1966, Tanner & Ahmed 1974). O índice de colheita (H), definido como relação entre o rendimento econômico de sementes e a produção de matéria seca total, expressa a eficiência de translocação de assimilados para as partes economicamente importantes da planta. No presente experimento, H não foi alterado pelos diferentes níveis de radiação solar (Tabela 1), e o valor obtido em plantas cultivadas sob plena radiação solar foi superior ao encontrado por Garcia (1979) com a mesma cultivar de soja (UFV-2), mesmo que esse autor tenha utilizado so-

TABELA 1. Peso médio da matéria fresca, seca e comercial das sementes e índice de colheita, sob os quatro níveis de radiação solar, na última colheita.

Nível de radiação solar	Peso da matéria fresca (kg/ha)	Peso da matéria seca (kg/ha)	Peso comercial com 15% de umidade (kg/ha)	Índice de colheita (%)
100%	2.432,0	1.515,4	1.742,7	41
70%	2.634,0	1.571,6	1.807,3	39
50%	1.729,0	993,5	1.142,5	40
30%	1.018,0	857,0	985,6	37

TABELA 2. Peso de matéria seca de raízes, caules, folhas, vagens e da planta toda, em g.m⁻², e razão entre parte aérea e sistema radicular (PA/PR), sob os quatro níveis de radiação solar.

Nível de radiação solar (%)	Coleta (dias após a emergência)	Raiz	Caule	Folha	Vagem	Planta toda	PA/PR
100	14	1,1	4,1	6,2		11,4	9,4
	28	9,4	16,5	16,9		42,8	3,6
	42	24,9	41,7	43,8		110,4	3,4
	56	30,7	98,5	77,5		206,7	5,7
	70	37,2	149,3	104,6		291,1	6,8
	84	73,2	246,3	125,2	16,5	461,2	5,3
	98	81,7	237,1	112,8	64,2	495,8	5,1
	112	79,9	188,0	74,3	125,4	467,6	4,9
	126	42,5	139,4	58,3	166,1	406,3	8,6
	140	37,0	108,3	0,0	224,6	369,9	9,0
70	14	1,5	7,6	3,4		12,5	7,3
	28	5,2	13,0	11,9		30,1	4,8
	42	22,9	45,5	39,6		108,0	3,7
	56	27,5	104,1	70,9		202,5	6,4
	70	34,8	113,8	83,0		231,6	5,7
	84	55,5	171,6	94,0	13,5	334,6	5,0
	98	78,0	191,2	89,7	65,5	424,4	4,4
	112	57,9	156,4	78,1	115,6	408,0	6,0
	126	42,8	143,0	64,8	178,9	429,5	9,0
	140	38,8	141,3	1,7	225,4	408,2	9,5
50	14	0,9	3,2	6,9		11,0	11,2
	28	5,4	15,3	14,4		35,1	5,5
	42	18,9	41,3	43,7		103,9	4,5
	56	21,8	73,4	50,3		145,5	5,7
	70	32,1	104,3	78,1		214,5	5,7
	84	35,5	151,9	81,7	14,5	283,6	7,0
	98	46,1	167,2	66,4	40,4	320,1	5,9
	112	37,6	130,0	60,9	91,5	320,0	7,5
	126	31,4	103,7	52,8	122,3	310,2	8,9
	140	24,6	76,2	1,8	144,5	247,1	9,0
30	14	0,6	2,8	4,5		7,9	12,2
	28	5,4	15,4	13,0		33,8	5,3
	42	11,4	40,0	33,2		84,6	6,4
	56	16,9	72,0	45,3		134,2	6,9
	70	22,3	82,2	57,0		161,5	6,2
	84	30,9	101,2	60,5	13,4	206,0	5,7
	98	36,7	111,7	59,9	27,1	235,4	5,4
	112	23,7	95,1	48,7	59,7	227,2	8,6
	126	23,0	90,1	30,8	95,6	239,5	9,4
	140	21,1	86,8	2,5	121,1	231,5	10,0
C.V. (coletas)		20,14	21,92	17,59	16,65	14,44	18,79
S (coletas)		2,55	21,15	8,70	15,86	32,37	1,29
F (coletas)		++	++	++	++	++	++
C.V. (nível de radiação solar)		16,75	17,29	15,12	14,22	11,21	19,87
S (nível de radiação solar)		3,62	16,58	7,46	13,54	25,13	1,36
F (nível de radiação solar)		++	++	++	++	++	++

++ Significativo ao nível de 1%.

mente a parte aérea da planta. Experimentos com variedades de soja mostraram falta de associação ou mesmo associação negativa entre rendimento de sementes e H (Garcia 1979, Johnson & Major 1979, Colasante & Costa 1981).

Nota-se que a relação parte aérea/raiz foi superior em plantas sombreadas (Tabela 2). Normalmente, o sombreamento aumenta a relação parte aérea/raiz (Brouwer 1962, Antoniw & Sprent 1978), porque a redução da radiação solar incidente, desacelerando o crescimento da parte aérea, desacelera também mais rapidamente o crescimento das raízes, como resultado da menor translocação de carboidratos oriundos da parte aérea. Supõe-se, então, que haja uma hierarquia na utilização de carboidratos dentro da planta (Thornley 1976). Depois da fixação do carbono atmosférico, os carboidratos formados são utilizados no crescimento e respiração das folhas, caules e ramos. Só então os carboidratos restantes são transportados para as raízes. Dessa maneira, o órgão mais adversamente influenciado pela redução de carboidratos, causada pelo sombreamento, é a raiz.

CONCLUSÕES

1. O crescimento da soja apresentou três fases distintas: Da germinação ao começo da floração foi relativamente lento; acelerado, da floração ao início do enchimento de sementes; e muito lento na fase de desenvolvimento das sementes.
2. O sombreamento reduziu o acúmulo de matéria seca na planta e nos seus órgãos.
3. Os valores máximos de produção de matéria seca foram registrados aos 92 dias para as folhas, aos 104 dias para as raízes em todos os níveis de luz, e no caule aos 103 dias a meia e plena radiação; e aos 108 dias após a emergência, nos níveis de 30% e 70% da luz incidente.
4. A matéria seca acumulada nos pericarpos e sementes aumentaram vigorosamente até a colheita final nos maiores níveis de luz, e de forma lenta nos menores níveis de radiação incidente.
5. Houve correlação linear ($R^2 = 0,97$) entre o rendimento de sementes e a biomassa.
6. O sombreamento prolongou o período de acúmulo de matéria seca dos diversos órgãos, principalmente o período de maturação, aumentando o ciclo da cultura.
7. A redução da radiação solar aumentou a razão parte aérea/sistema radicular, o acamamento de plantas, e o aborto de flores e vagens.

8. O índice de colheita não foi influenciado pelos níveis de radiação solar.

AGRADECIMENTOS

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

REFERÊNCIAS

- ANTONIW, L.D. & SPRENT, J.I. Growth and nitrogen fixation of *Phaseolus vulgaris* L. at two irradiances. I. Growth. **Ann. Bot.**, **43**:299-397, 1978.
- BROUWER, R. Distribution of dry matter in the plant. **Neth. J. Agric. Sci.**, **10**:361-75, 1962.
- COLASANTE, L.O. & COSTA, J.A. Índice de colheita e rendimento biológico na comparação da eficiência de variedades de soja. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, **16**(2):225-30, 1981.
- CROOKSTON, R.K.; THEHARNE, K.J.; LUDFORD, P.; OZBUN, J.L. Response of beans to shading. **Crop Sci.**, **15**:412-6, 1975.
- DE WIT, C.T.; BROUWER, R.; PENNING DE VRIES, F.W.T. The simulation of photosynthetic systems. In: SETLIK, I. ed. **The Prediction and measurement of photosynthetic productivity**. Wageningen, Pudoc., 1970. p.47-70.
- GARCIA, A. **Estudo do índice de colheita e de outras características agrônômicas de dez cultivares de soja, *Glycine max* (L.) Merrill, e de suas correlações com a produção de grãos, em duas épocas de semeadura**. Viçosa, UFV, 1979. 76p. Tese Mestrado.
- HANWAY, J.J. & WEBER, C.R. Dry matter accumulation in soybean (*Glycine max* (L.) Merrill) plants as influenced by N, P and K fertilization. **Agron. J.**, **63**:263-6, 1971.
- HESKETH, J.D.; BAKER, D.N.; DUNCAN, W.G. Simulation of growth and yield in cotton: respiration and carbon balance. **Crop Sci.**, **11**:394-8, 1971.
- JOHNSON, D.R. & MAJOR, D.J. Harvest index of soybeans as affected by planting date and maturity rating. **Agron. J.**, **71**:538-41, 1979.
- MCCREE, K.J. An equation for the rate of respiration of white clover plants grown under controlled conditions. In: SETLIK, I. ed. **The prediction and measurement of photosynthetic productivity**. Wageningen, Pudoc, 1970. p.221-9.
- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Crescimento e conversão da energia solar em soja cultivada sob quatro níveis de radiação solar. **Pesq. agropec. bras.**, Brasília, **24**(9):1065-72, set. 1989a.

- MELGES, E.; LOPES, N.F.; OLIVA, M.A. Influência do sombreamento artificial nas condições microclimáticas na cultura da soja. *Pesq. agropec. bras.*, Brasília, 24(7):857-63, 1989b.
- PENDLETON, U.W.; BOLEN, C.D.; SEIF, R.D. Alternating strips of corn and soybeans vs. solid planting. *Agron. J.*, 55:293-5, 1963.
- PENNING DE VRIES, F.W.T. Respiration and growth. In: RESS, A.R.; COCKSHULL, K.E.; HAND, D.W.; HURD, R.G. eds. **Processes in controlled environments**. London, Academic Press, 1972. p.327-47.
- PENNING DE VRIES, F.W.T. The cost of maintenance processes in plant cells. *Ann. Bot.*, 39:77-92, 1975a.
- PENNING DE VRIES, F.W.T. Use of assimilates in higher plants. In: COOPER, J.P. ed. **Photosynthesis and productivity in different environments**. London, Cambridge University Press, 1975b. p.459-80.
- RICHARDS, F.J. The quantitative analysis of growth. In: STEWARD, F.C. ed. **Plant physiology: a treatise**. New York, Academic Press, 1969. p.3-76.
- 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.*, 18:29-34, 1978.
- SHAW, R.H. & WEBER, C.R. Effects of canopy arrangements on light interception and yield of soybeans. *Agron. J.*, 59:155-9, 1967.
- SHIBLES, R.M. & WEBER, C.R. Interception of solar radiation and dry matter production by various soybean planting patterns. *Crop Sci.*, 6:55-9, 1966.
- TANNER, J.W. & AHMED, S. Growth analysis of soybeans treated with TIBA. *Crop Sci.*, 14:371-4, 1974.
- TRANG, K.M. & GIDDENS, J. Shading and temperature as environmental factors affecting growth, nodulation, and symbiotic N₂ fixation soybeans. *Agron. J.*, 72:305-8, 1980.
- THORNLEY, J.H.M. **Mathematical models in plant physiology**. London, Academic Press, 1976. 318p.
- 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.
- WATSON, D.J. Leaf growth in relation to crop yield. In: MILTHORPE, F.L. ed. **The growth of leaves**. London, Butterworths Scientific Publication, 1956. p.140-50.
- WEBER, C.R. Physiological concepts for high soybean yields. *Field Crop Abstr.*, 21:313-7, 1968.
- WEBER, C.R. & FEHR, W.R. Seed yield losses from lodging and combine harvesting in soybeans. *Agron. J.*, 58:287-9, 1966.
- WOLEDGE, J. The effect of shading on the photosynthetic rate and longevity of grass leaves. *Ann. Bot.*, 36:551-61, 1972.
- YAMAGUCHI, J. Respiration and the growth efficiency in relation to crop productivity. *J. Fac. Agric. Hokkaido Univ.*, 59:59-129, 1978.