

## CRESCIMENTO E CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR EM DOIS SISTEMAS DE ASSOCIAÇÃO MILHO-FEIJÃO<sup>1/</sup>

Milton José Cardoso<sup>2/</sup>  
Luiz A. Nogueira Fontes<sup>3/</sup>  
Nei Fernandes Lopes<sup>4/</sup>  
José Domingos Galvão<sup>3/</sup>

### 1. INTRODUÇÃO

A taxa de produção de matéria seca, em diferentes espécies, reflete uma variação na eficiência fotossintética (5). A produtividade primária e a conversão da energia solar do milho e do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) em cultivos exclusivos e associados depende da densidade de plantio (2, 3, 4, 8), do sistema de consórcio (3) e da densidade do fluxo radiante (1, 8, 10).

Em consórcio cultural, pelo menos uma das culturas deve ter propriedades de adaptação à redução da densidade do fluxo radiante. O feijoeiro apresenta grande adaptação ao estresse de luz, visto reduzir a taxa respiratória, para baixar o ponto de compensação de luz, aumentar a área foliar, de maneira que sejam maximizadas a interceptação e a absorção de luz, e incrementar a eficiência na conversão da energia solar em fotoassimilados (7).

---

<sup>1/</sup> Parte da tese de doutorado em Fitotecnia apresentada, pelo primeiro autor, à Universidade Federal de Viçosa.

Aceito para publicação em 17-11-1986.

<sup>2/</sup> EMBRAPA/UEPAE de Teresina. Cx. Postal 01. 64000 Teresina, PI.

<sup>3/</sup> Bolsista do CNPq. Departamento de Fitotecnia da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

<sup>4/</sup> Bolsista do CNPq. Departamento de Biologia Vegetal da U.F.V. 36570 Viçosa, MG.

Neste trabalho, estudaram-se os efeitos da combinação de dois sistemas de consórcio milho-feijão com a distribuição da gramínea em três espaçamentos dentro da fileira sobre o crescimento e conversão da energia solar das duas culturas.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi instalado em terreno da Universidade Federal de Viçosa, no ano agrícola 1983/84. O local apresenta topografia plana, sendo o solo classificado como Podzólico Vermelho-Amarelo Cámbico, fase terraço. De acordo com a análise química e física, o material de solo apresentou textura argilosa, acidez média, teores altos de fósforo e potássio, teor médio de cálcio e baixo teor de alumínio.

Antes do plantio, visando à uniformização da área experimental, foram aplicados, por hectare, 1.000 kg de fosfato de araxá, com 6,7% de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> solúvel em ácido cítrico a 2%, na relação de 1:1.000, 60 kg de K<sub>2</sub>O, na forma de cloreto de potássio, 20 kg de sulfato de magnésio e 20 kg de uma mistura de micronutrientes, incorporados ao solo por meio de gradagem.

Foram semeados o milho híbrido duplo AG 260 e o cultivar de feijão Negrito 897.

O delineamento experimental foi em blocos casualizados, com parcelas subdivididas, com quatro repetições. Nas parcelas estavam os tratamentos, constituídos pela combinação, em fatorial, de dois sistemas de associação de plantas de milho e feijão: sistema de plantio de uma fileira de feijão entre duas de milho (S<sub>1</sub>) e sistema de plantio de feijão e milho na mesma fileira (S<sub>2</sub>), com três arranjos espaciais das plantas de milho na fileira: uma planta a cada 0,25m (C<sub>25</sub>), duas plantas a cada 0,50m (C<sub>50</sub>) e quatro plantas a cada 1,00m (C<sub>100</sub>). As subparcelas corresponderam às épocas de coleta de plantas de milho e feijão para a obtenção dos parâmetros fisiológicos. A área útil de cada parcela, para a coleta, era de 1,00m<sup>2</sup>, com quatro plantas de milho e 15 de feijão.

Foram utilizadas parcelas de 135m<sup>2</sup> (9m x 15m). No sistema S<sub>1</sub> havia nove fileiras de milho e nove fileiras de feijão, ficando as fileiras da leguminosa distanciadas de 0,50m das fileiras da gramínea. No sistema S<sub>2</sub> também havia nove fileiras, todas espaçadas de 1,00 metro.

Para o milho, na adubação de plantio, utilizou-se a mistura de 100 kg de sulfato de amônio, 300 kg de superfosfato simples e 50 kg de cloreto de potássio, por hectare. Para o feijão, a metade dessas quantidades. Posteriormente, foram efetuadas mais duas adubações nitrogenadas de cobertura. Na primeira, foram aplicados 100 kg de sulfato de amônio por hectare, 20 dias após a emergência do feijoeiro; na segunda, 200 kg por hectare, 40 dias após a emergência do milho. Quando plantados na mesma linha, o milho e o feijão receberam o total do adubo aplicado nas culturas em linhas isoladas. Para o milho, ante a distribuição das plantas nas fileiras, optou-se pela aplicação do adubo em covas, nos dois sistemas de plantio.

As coletas foram efetuadas a intervalos semanais, durante todo o ciclo das culturas, perfazendo um total de oito e dezesseis coletas, para feijão e milho, respectivamente. A primeira coleta aconteceu 17 dias após a emergência das plântulas de feijão, que ocorreu dois dias antes da do milho. Assim, nas figuras apresentadas no trabalho, o ponto inicial, na abscissa, refere-se à emergência do feijoeiro, mesmo nas discussões relativas à cultura de milho.

Em cada coleta, na área útil, as plantas foram cortadas rente ao solo e separadas em partes (láminas, bainhas foliares, colmos, espigas ou vagens, pendões), enquanto os sistemas radiculares foram retirados em blocos de terra e lavados sobre

peneiras. Para a determinação da matéria seca, as partes vegetais foram secas em estufa de ventilação forçada, à temperatura de 70°C, até peso constante. A área foliar ( $A_f$ ) das plantas de cada coleta foi determinada por meio de um integrador de área LICOR, LI 3100.

Curvas logísticas de crescimento foram ajustadas aos dados primários de matéria seca total, por meio de um programa interativo, para minimizar a variância residual. A equação utilizada foi:  $W_t = A/(1 + Be^{-Ct})$ , sendo A a estimativa assintótica do crescimento máximo, B e C constantes de ajustamento e t o tempo, em dias.

Foram efetuadas análises de variância e de regressão curvilínea das médias da área foliar e da matéria seca acumulada nas folhas, em relação às coletas, com o emprego dos polinômios ortogonais. Procurou-se chegar ao polinômio que melhor se ajustasse aos dados primários, de acordo com o proposto por RICHARDS (17).

Para obter os valores instantâneos da taxa de produção de matéria seca total ( $C_t$ ), empregou-se a derivada da equação ajustada ao peso da matéria seca total ( $W_t$ ), em relação ao tempo (15, 17).

Os valores instantâneos da  $A_f$  foram obtidos a partir da equação de regressão ajustada da  $A_f$ , em relação ao tempo. A partir dos valores instantâneos da  $A_f$ , foram obtidas as demais características de crescimento com ela relacionadas.

Os valores instantâneos do índice de área foliar (L) foram obtidos pela divisão dos valores instantâneos da  $A_f$  pela área da subparcela.

No cálculo dos valores instantâneos da taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) e da taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ) foram usadas as fórmulas  $R_w = C_t/W_t$  e  $E_A = C_t/L$ .

Os valores instantâneos de  $A_f$ ,  $W_f$  e  $W_t$  foram utilizados para calcular a razão de área foliar ( $F_A = A_f/W_t$ ), a razão de peso foliar ( $F_W = W_f/W_t$ ) e a área foliar específica ( $S_A = A_f/W_f$ ), de acordo com RADFORD (15).

A eficiência na conversão da energia solar ( $\epsilon\%$ ), representada por valores instantâneos, foi obtida a partir da equação  $\epsilon\% = (100 \times \sigma)/R_a$ , em que  $R_a$  representa o valor médio diário da radiação solar total incidente, em  $\text{cal.cm}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ , registrada nos cinco dias anteriores ao  $C_t$  correspondente, e  $\sigma$  representa o valor calorífico. Para este último, utilizaram-se os valores de 3.800 e 4.200  $\text{cal.g}^{-1}$ , para feijão e milho, respectivamente, conforme determinado por Lieth (1968), citado por KVET *et alii* (6).

A penetração da luz em cada dossel foi avaliada por meio de método colorimétrico, usando-se o nitrato de uranila como reagente (19), em três alturas (topo do milho, topo do feijão e no nível do solo). As avaliações foram feitas nas épocas de floração, formação de vagens e enchimento de grãos do feijoeiro. Nas mesmas épocas, foram feitas também avaliações da umidade do solo, nas profundidades de 0 a 5 e de 5 a 10 cm, pelo método gravimétrico, e do estado nutricional das plantas, pelo método da diagnose foliar.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1. Milho

Na avaliação das duas culturas, os níveis de nitrogênio, fósforo e potássio observados no tecido foliar, bem como os níveis de umidade no solo, nas profundidades de 0 a 5 e 5 a 10 cm, mostraram-se satisfatórios para bom crescimento e desenvolvimento das plantas, o que efetivamente ocorreu.

As curvas logísticas (Figura 1) mostram a tendência do acúmulo de matéria seca total ( $W_t$ ) do milho nos dois sistemas de plantio.

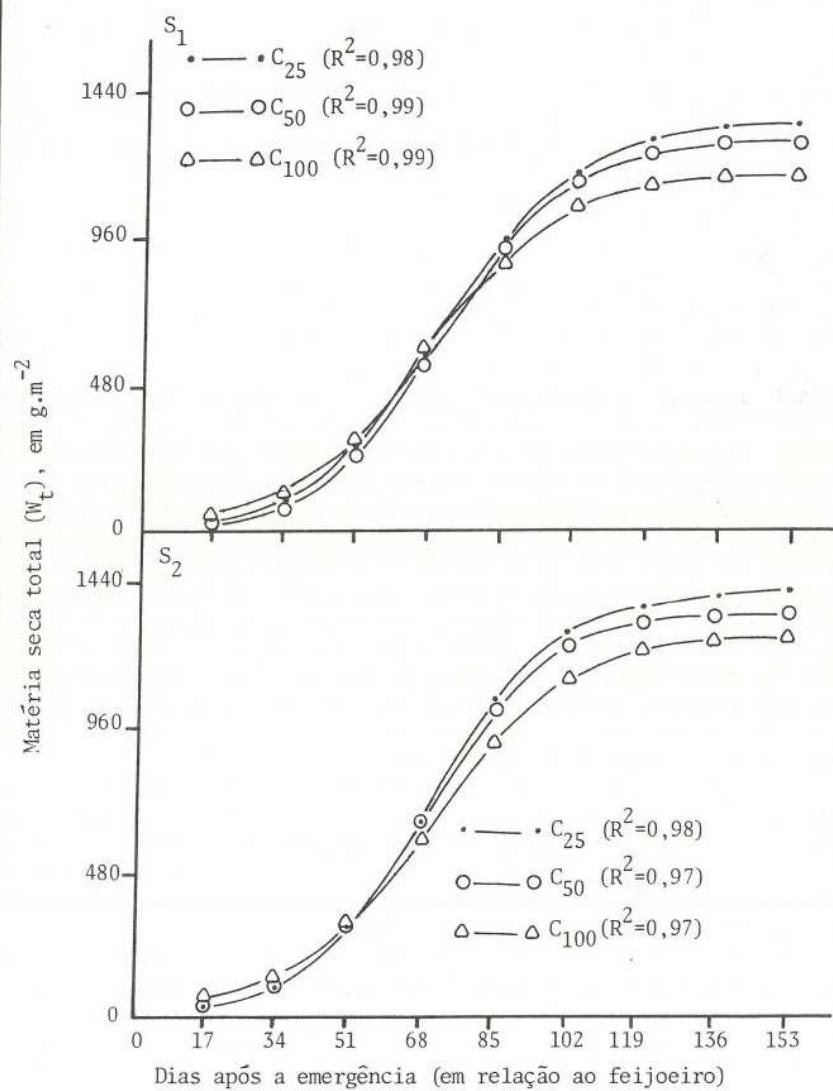


FIGURA 1 - Acúmulo de matéria seca total do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do feijoeiro (S<sub>2</sub>).

Nos primeiros 28 dias após a emergência do milho, observou-se acúmulo relativamente pequeno de  $W_t$ , fase de crescimento lento, seguido de crescimento acelerado até aproximadamente 90/95 dias após a emergência, fase de rápido crescimento. Finalmente, o crescimento tendeu a um patamar, até o fim do ciclo da cultura, fase de crescimento lento. Independentemente do espaçamento dentro da fileira, o milho acumulou mais matéria seca quando plantado na mesma linha do feijão ( $S_2$ ), em relação ao sistema intercalar ( $S_1$ ). Nos dois sistemas, observou-se menor acúmulo de  $W_t$  quando havia plantas a cada 1,00m ( $C_{100}$ ), em relação ao arranjo de uma planta a cada 0,25m, causado pela maior competição intra-específica no milho.

No sistema de plantio das duas culturas na mesma linha ( $S_2$ ), o milho apresentou maior  $C_t$  (Figura 2), em relação ao sistema intercalar ( $S_1$ ). Os valores máximos de  $C_t$  foram atingidos aos 66 dias após a emergência, em ambos os sistemas de plantio, sendo de 21,8, 22,5 e 19,1  $g.m^{-2}.dia^{-1}$  para o sistema intercalar ( $S_1$ ) e de 24,4, 23,7 e 19,7  $g.m^{-2}.dia^{-1}$  para o sistema das duas culturas na mesma linha ( $S_2$ ), em ordem crescente de espaçamento entre covas na fileira. A maior competição intra-específica no arranjo de quatro plantas a cada 1,00m prejudicou a  $C_t$  do milho, quando comparada à do arranjo de uma planta a cada 0,25m. Estudando sistemas de associação milho-feijão em condições de campo, em Viçosa, Minas Gerais, ARAÚJO (3) encontrou, para o milho,  $C_t$  máxima de 17,6  $g.m^{-2}.dia^{-1}$ , para o sistema intercalar às fileiras de feijão. Outros trabalhos com culturas exclusivas de milho mostram valores semelhantes aos encontrados neste estudo (8, 9, 18).

Para os dois sistemas de plantio, a tendência dos valores do índice de área foliar ( $L$ ) encontra-se na Figura 3. Independentemente do sistema de plantio, os maiores valores de  $L$  foram alcançados em torno de 66 dias após a emergência. Em ordem crescente de espaçamento entre covas na fileira, os maiores valores de  $L$  foram de 2,07, 2,10 e 2,06 para o sistema de milho intercalar às fileiras do feijoeiro ( $S_1$ ) e de 2,25, 2,77 e 2,06 para o sistema de plantio de ambas as culturas na mesma fileira ( $S_2$ ). Neste último, o milho apresentou superioridade em  $L$ . Contudo, dentro de cada sistema de plantio, não foi verificado efeito dos espaçamentos entre covas sobre o  $L$  do milho. Outros autores, em sistemas de associação milho-feijão, obtiveram valores máximos de  $L$  similares a esses (3, 14, 16).

A  $C_t$  pode também ser expressa pelo produto de  $E_A \times L$ . Assim, a produtividade ótima será alcançada quando o produto de  $E_A \times L$  for máximo. Desses dois fatores,  $A_f$ , em geral, é o mais importante, em virtude de estar a variação na produção de matéria seca relacionada, principalmente, com  $A_f$  (20). Pode-se notar, nas Figuras 2 e 3, que o período em que o maior valor de  $L$  foi observado coincidiu com aquele em que ocorreu o maior valor de  $C_t$ .

A Figura 4 apresenta, para os dois sistemas de plantio, a tendência dos valores da taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ). Em geral, os maiores valores da  $E_A$  são observados no início do ciclo, tendendo a diminuir com a idade. Verifica-se, para os dois sistemas de plantio, que, até aos 32 dias após a emergência, o espaçamento de 1,00m entre covas ( $C_{100}$ ) proporcionou ao milho uma  $E_A$  superior à dos demais espaçamentos ( $C_{25}$  e  $C_{50}$ ). Sendo  $E_A$  função de  $C_t/L$ , tal fato se justifica, pois, nesse período, os maiores valores da  $E_A$  estavam associados a baixos valores de  $L$  (Figura 2), quando comparados aos dos demais espaçamentos. Trinta e dois dias após a emergência, menores  $E_A$  foram observadas no maior espaçamento entre covas, sendo a causa principal disso a maior competição entre as plantas de milho, o que proporcionou menor  $C_t$ .

$E_A$  depende também da radiação solar, das condições internas da planta, do balanço hídrico e do equilíbrio nutricional. Segundo WATSON (20),  $E_A$  varia mais com a idade da planta do que com os fatores do meio e representa a taxa fotossin-

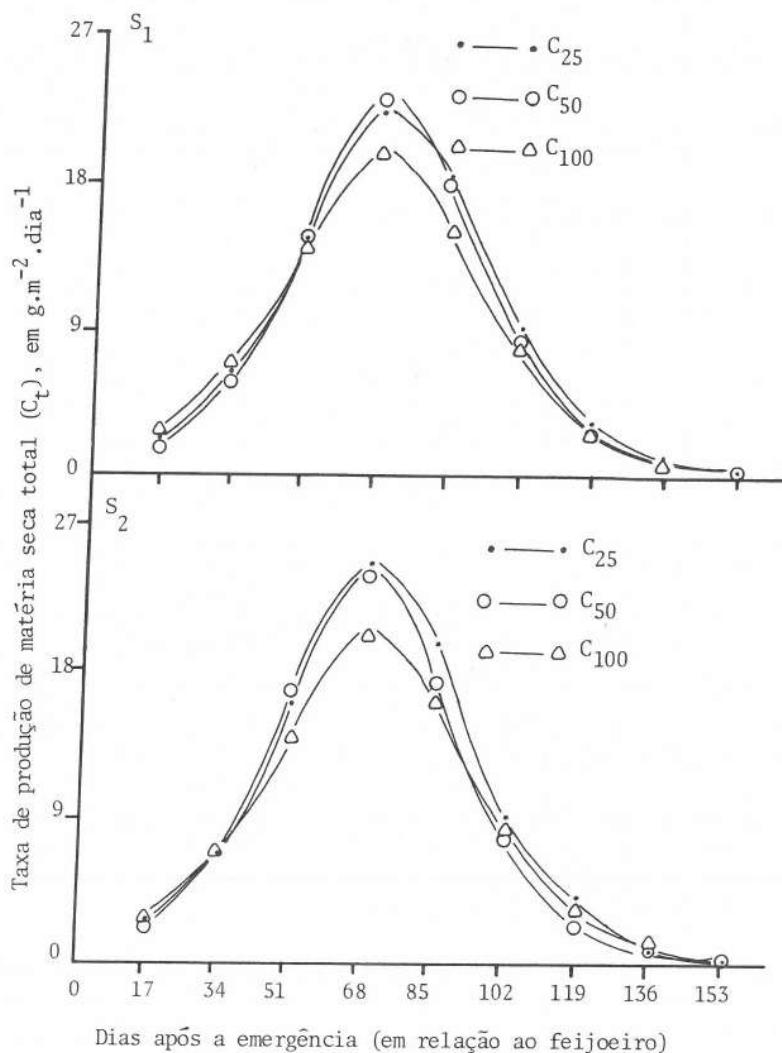


FIGURA 2 - Taxa de produção da matéria seca total do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do feijoeiro (S<sub>2</sub>).

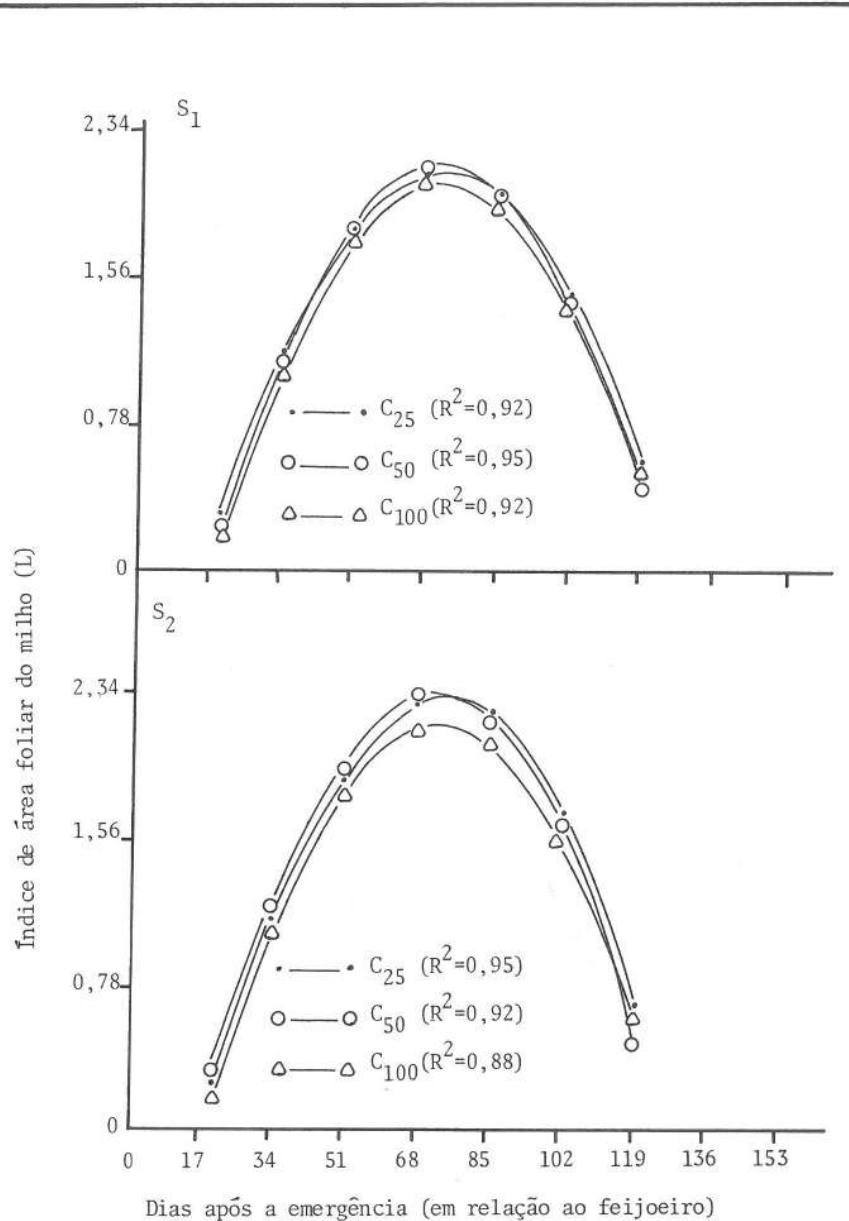


FIGURA 3 - Índice de área foliar do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do feijoeiro (S<sub>2</sub>).

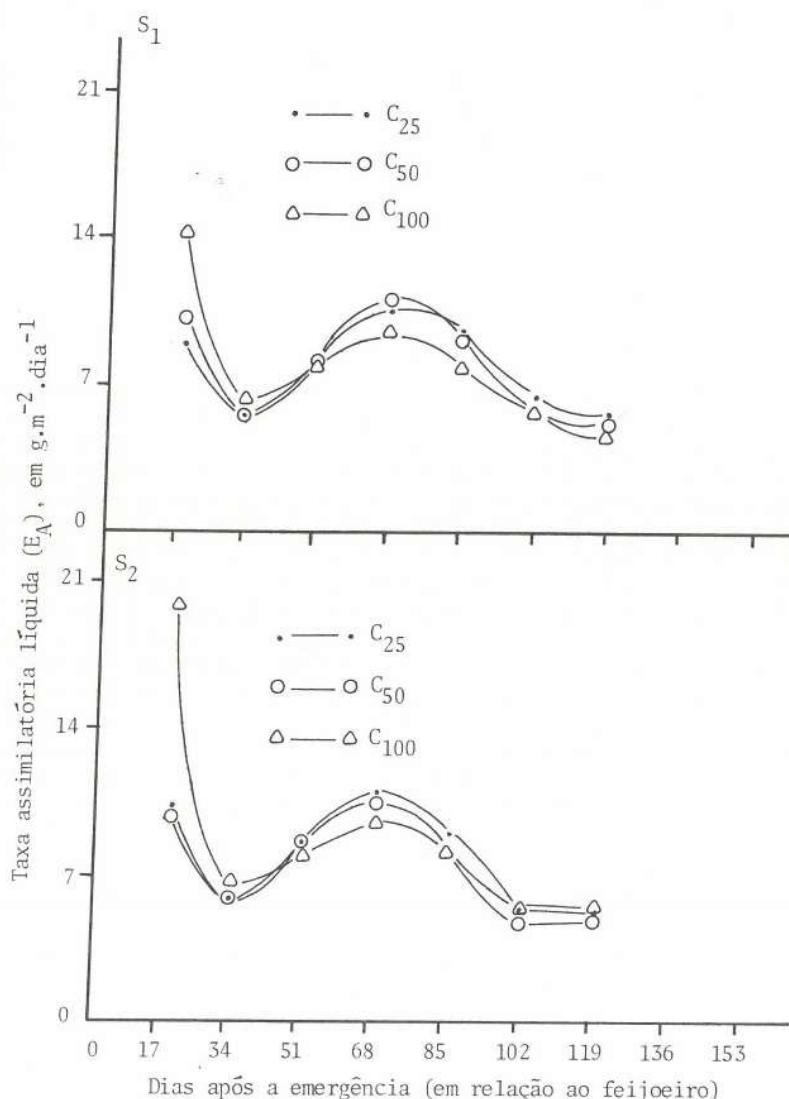


FIGURA 4 - Taxa assimilatória líquida do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro ( $S_1$ ) e na mesma fileira do feijoeiro ( $S_2$ ).

tética líquida. Na Figura 4, o aumento da  $E_A$ , no período de 32 a 66 dias após a emergência do milho está associado ao aumento da demanda de produtos fotosintetizados pelos sítios de consumo, isto é, expansão foliar e radicular, alongamento do caule e diferenciação dos órgãos reprodutivos (11, 13).

As tendências dos valores de  $R_w$  acham-se na Figura 5. Para os dois sistemas de plantio, as taxas foram elevadas no início do ciclo, decaindo continuamente até o final deste, em razão, principalmente, do aumento gradual de tecidos não assimilatórios. Observou-se que o arranjo de quatro plantas de milho por cova apresentou menores  $R_w$  no início do ciclo, igualando-se, praticamente, aos demais arranjos no final do ciclo, o que indica que a partir de certo ponto, a competição intra-específica passou a limitar, em menor grau, a taxa de incremento da matéria seca, em relação à pré-existente. As tendências das curvas de  $R_w$  foram semelhantes às encontradas por ARAÚJO (3) e REIS (16), no consórcio milho-feijão, e por LOPES e MAESTRI (8), SILVA *et alii* (18) e MACHADO *et alii* (9), em cultura exclusiva de milho.

A Figura 6 apresenta a tendência dos valores da  $F_A$  do milho, nos dois sistemas de plantio. Independentemente do espaçamento entre covas de milho, o maior valor da  $F_A$  foi verificado aos 32 dias após a emergência. Ao comparar  $F_A$  com  $E_A$  (Figura 4), verifica-se uma relação inversa entre esses dois caracteres fisiológicos. Os maiores valores da  $F_A$  no início do ciclo vegetativo indicam que a maior parte do material fotossintetizado foi convertida em folhas, visando à maior captação da radiação solar disponível. Com o avanço em idade das plantas, tende a haver maior acúmulo de matéria seca no caule e na espiga, o que ocasiona aumento na  $W_t$  e decréscimo na  $F_A$ .

Os valores calculados do índice de conversão da energia solar ( $\epsilon$ ) podem ser observados nas Figuras 7A e 7B. Os maiores valores, em ordem crescente de espaçamento entre covas de milho, foram de 2,6, 2,6 e 2,1% para o sistema de plantio intercalar (Figura 7A) e de 2,8, 2,5 e 2,3% para o sistema de plantio do milho na mesma fileira do feijão (Figura 7B), todos alcançados 81 dias após a emergência. Os valores médios de  $\epsilon$ , para o sistema intercalar, foram de 1,2, 1,1 e 1,0% e, para o sistema das duas culturas na mesma fileira, de 1,2, 1,2 e 1,1%. Comparando esses valores com os encontrados na literatura, conclui-se que o feijão, provavelmente, não influenciou esse caráter fisiológico do milho, visto que tais valores estão próximos dos encontrados em cultura exclusiva de milho por LOPES e MAESTRI (8).

As irregularidades nas curvas de  $\epsilon$  foram, provavelmente, devidas não só à grande oscilação no fluxo da radiação solar incidente, em virtude da alta nebulosidade verificada durante o período de condução do experimento, como também às mudanças morfológicas ocorridas nas plantas no processo normal de desenvolvimento.

### 3.2. Feijão

Para o feijoeiro, observa-se, no Quadro 1, que, de modo geral, o maior espaçamento do milho na fileira (C<sub>100</sub>) permitiu maior penetração de luz para o feijoeiro, observando-se, também, maiores valores relativos para o tratamento S<sub>1</sub>C<sub>100</sub>, nas fases de florescimento e formação de vagens, em virtude, certamente, da posição das plantas de feijão, em relação às do milho, e do arranjo espacial destas. Verifica-se também que, do estádio de início de floração ao estádio de enchimento de vagens, houve maior penetração de luz no dossel do feijoeiro, em virtude da aceleração da sua senescência foliar.

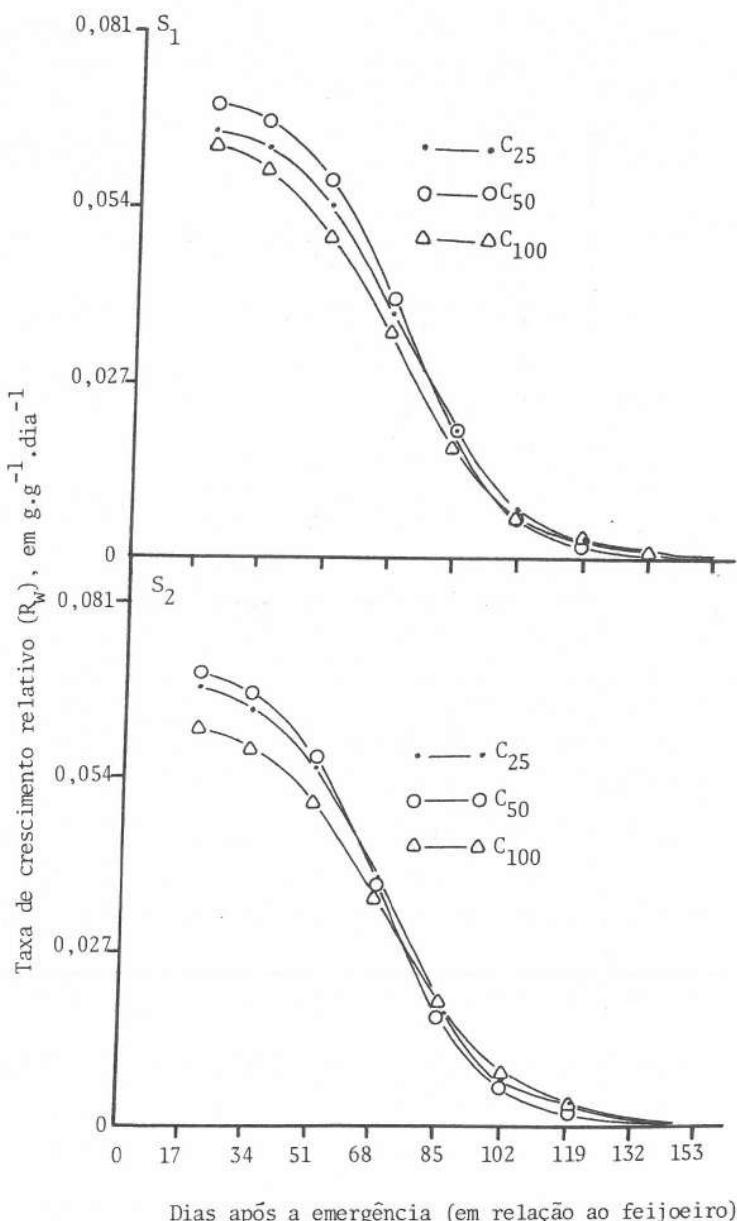


FIGURA 5 - Taxa de crescimento relativo do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro ( $S_1$ ) e na mesma fileira do feijoeiro ( $S_2$ ).

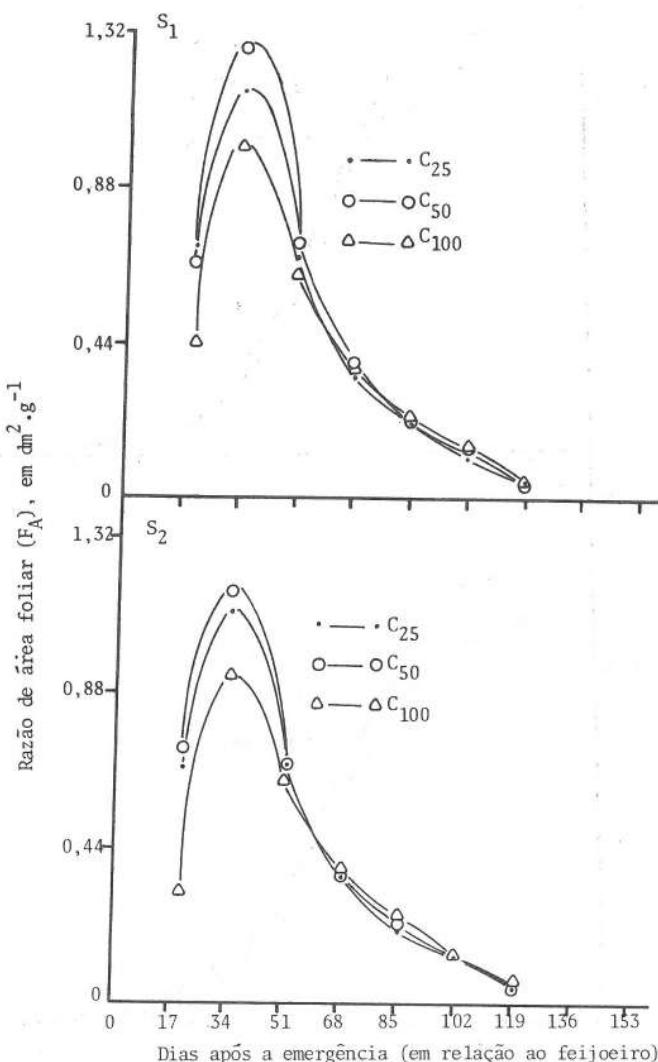


FIGURA 6 - Razão de área foliar do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do feijoeiro (S<sub>2</sub>).

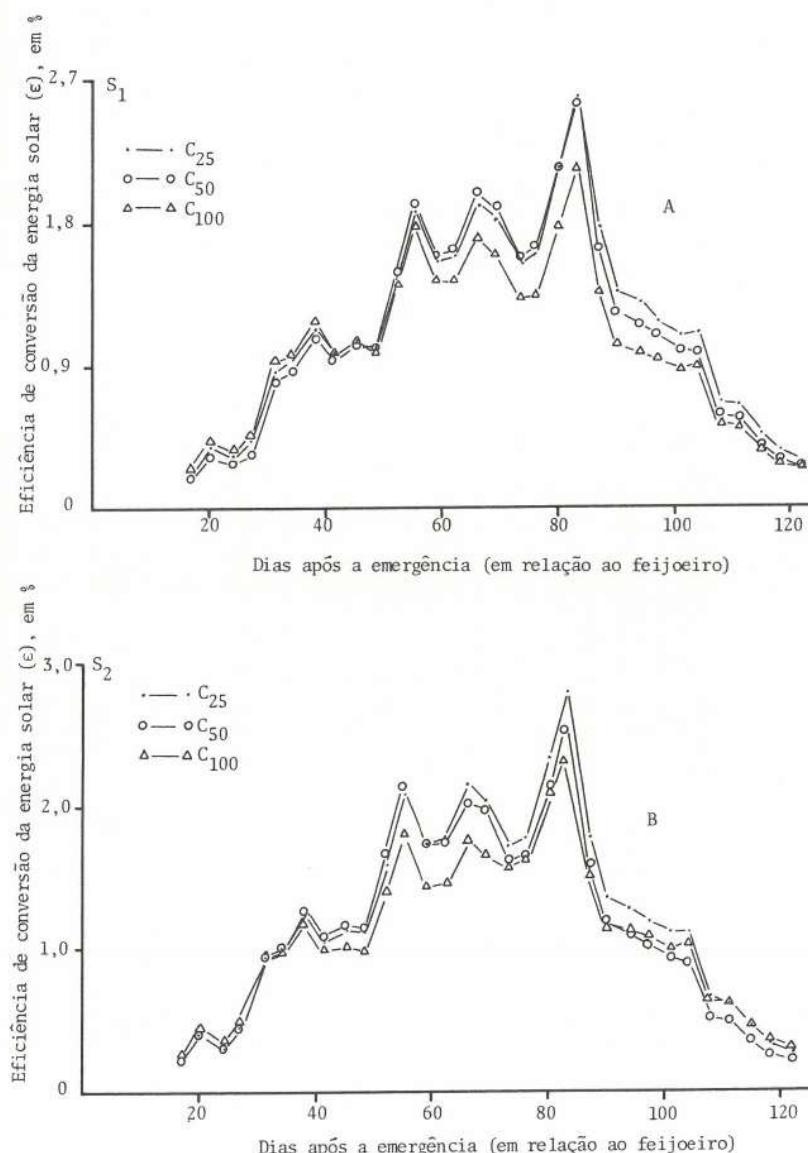


FIGURA 7 (A e B) - Eficiência de conversão da energia solar do milho, arranjado em três espaçamentos entre covas (C), nos sistemas de plantio intercalar ao feijoeiro (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira (S<sub>2</sub>) do feijoeiro.

QUADRO 1 - Avaliação da distribuição relativa da radiação solar nas fases de florescimento (FL), formação de vagens (FV) e enchimento de grãos (EG) do feijoeiro consorciado com o milho, arraniado em três espacamentos entre covas ( $C_{25} = 0,25$  m;  $C_{50} = 0,50$  m;  $C_{100} = 1,00$  m), nos sistemas de plantio intercalar ao milho ( $S_1$ ) e na mesma fileira do milho ( $S_2$ ). Viçosa, Minas Gerais, ano agrícola 1983/84

Local da medição	$S_1 C_{25}$			$S_1 C_{50}$			$S_1 C_{100}$		
	FL	FV	EG	FL	FV	EG	FL	FV	EG
Copa do feijoeiro	86,4	82,2	78,8	88,0	88,9	73,3	92,8	92,5	83,3
Solo	29,9	32,5	72,0	38,8	27,9	59,2	26,0	29,6	82,1
Local da medição	$S_2 C_{25}$			$S_2 C_{50}$			$S_2 C_{100}$		
	FL	FV	EG	FL	FV	EG	FL	FV	EG
Copa do feijoeiro	86,5	88,2	72,1	91,9	85,4	79,6	86,0	86,3	87,9
Solo	33,8	29,8	60,9	32,2	27,1	78,8	25,8	25,4	74,2

Relacionando os dois sistemas de plantio, verifica-se (Figura 8), no sistema de plantio das duas culturas na mesma fileira ( $S_2$ ), acúmulo maior de matéria seca no feijoeiro, em relação ao sistema intercalar ( $S_1$ ). Em ordem crescente de espaçamentos entre covas de milho, os maiores valores foram de 57,7, 54,1 e 61,8 g.m<sup>-2</sup> para o sistema intercalar ( $S_1$ ) e de 95,3, 78,3 e 99,4 g.m<sup>-2</sup> para o sistema de plantio na mesma fileira do milho ( $S_2$ ). Não foi verificada diferença no acúmulo de matéria seca, em relação aos espaçamentos entre covas de milho.

As curvas dispostas na Figura 9 evidenciam, no sistema em que o feijoeiro estava na mesma fileira ( $S_2$ ), valores das taxas de produção de matéria seca ( $C_t$ ) do feijoeiro superiores aos do sistema intercalar ( $S_1$ ). A partir de 24 dias da emergência, as plantas de feijão, no sistema  $S_2C_{100}$ , passaram a apresentar maior  $C_t$ , em relação ao dos demais espaçamentos ( $C_{25}$  e  $C_{50}$ ), o que mostra uma menor competição entre as plantas de milho e a leguminosa, aspecto também evidenciado pelo fato de maior valor da  $C_t$  ter sido atingido uma semana após o dos demais espaçamentos. Para cada sistema de plantio, as diferenças observadas entre as curvas estão relacionadas com os ajustes das plantas de feijão às diferentes situações de competição. Em ordem crescente de espaçamento entre covas de milho, os  $C_t$  máximos foram de 3,1, 2,2 e 2,2 g.m<sup>-2.dia</sup><sup>-1</sup> para o sistema intercalar ( $S_1$ ) e de 3,1, 3,0 e 3,4 g.m<sup>-2.dia</sup><sup>-1</sup> para o sistema do feijoeiro na mesma fileira do milho ( $S_2$ ). Utilizando três sistemas de associação milho-feijão (intercalar, faixas alternadas e intercalar de substituição) com o genótipo de feijão Ricobaio 1014, ARAÚJO (3) encontrou valores próximos dos obtidos neste estudo.

Observa-se, na Figura 10, a tendência dos valores instantâneos do índice de área foliar ( $L$ ). Verifica-se que o sistema de plantio das duas culturas na mesma fileira ( $S_2$ ) apresentou valores de  $L$  superiores aos do sistema de plantio de feijão intercalado às fileiras de milho ( $S_1$ ), fato relacionado com o maior número de folhas por planta obtido no sistema  $S_2$ . Todavia, dentro de cada sistema de plantio não foi verificada diferença no  $L$  do feijoeiro, considerando os espaçamentos entre covas na fileira do milho. Em ordem crescente do espaçamento entre covas de milho, os  $L$  máximos do feijoeiro foram de 0,74, 0,67 e 0,68 para o sistema de plantio intercalar ( $S_1$ ) e de 1,2, 1,0 e 1,0 para o sistema de plantio do feijoeiro na fileira do milho ( $S_2$ ), atingidos 38 dias após a emergência. PORTES e CARVALHO (14), em condições de campo, no consórcio milho-feijão, encontraram valores de  $L$  do feijoeiro comparáveis aos encontrados no presente trabalho.

Observando as Figuras 11 e 12, nota-se que, para um mesmo sistema de plantio, a tendência das curvas, para os caracteres razão de área foliar ( $F_A$ ) e razão de peso foliar ( $F_W$ ), praticamente não variou.  $F_A$  mostra a evolução de  $A_F$  e  $F_W$  a de  $W_f$ , ambos em relação a  $W_t$ , que cresce ao longo do ciclo da planta, justificando, dessa maneira, o decréscimo de  $F_A$  e  $F_W$  com o avanço em idade das plantas. Os menores valores observados no sistema de plantio de feijão intercalado ao milho ( $S_1$ ), em relação aos do sistema de plantio das duas culturas na mesma fileira ( $S_2$ ), também estão relacionados tanto com os menores valores obtidos de  $W_t$  como com os de  $A_F$  e  $W_f$ , o que mostra a menor contribuição daquele sistema ( $S_1$ ) ao crescimento e desenvolvimento do feijoeiro. Quando o milho estava espaçado de 1,00m ( $C_{100}$ ) dentro da fileira, no sistema de plantio de feijão na mesma fileira da gramínea ( $S_2$ ),  $F_A$  e  $F_W$  atingiram valores maiores do que os dos demais espaçamentos ( $C_{25}$  e  $C_{50}$ ), da emergência ao início da floração. Esse fato está associado a um menor acúmulo de  $W_t$  nesse período, como mostra a Figura 8.

Os maiores valores de  $F_A$  no feijão, obtidos no sistema de plantio em que a leguminosa estava junto com o milho na fileira ( $S_2$ ), evidenciam que as plantas de feijão encontraram aí melhor condição de crescimento e desenvolvimento.

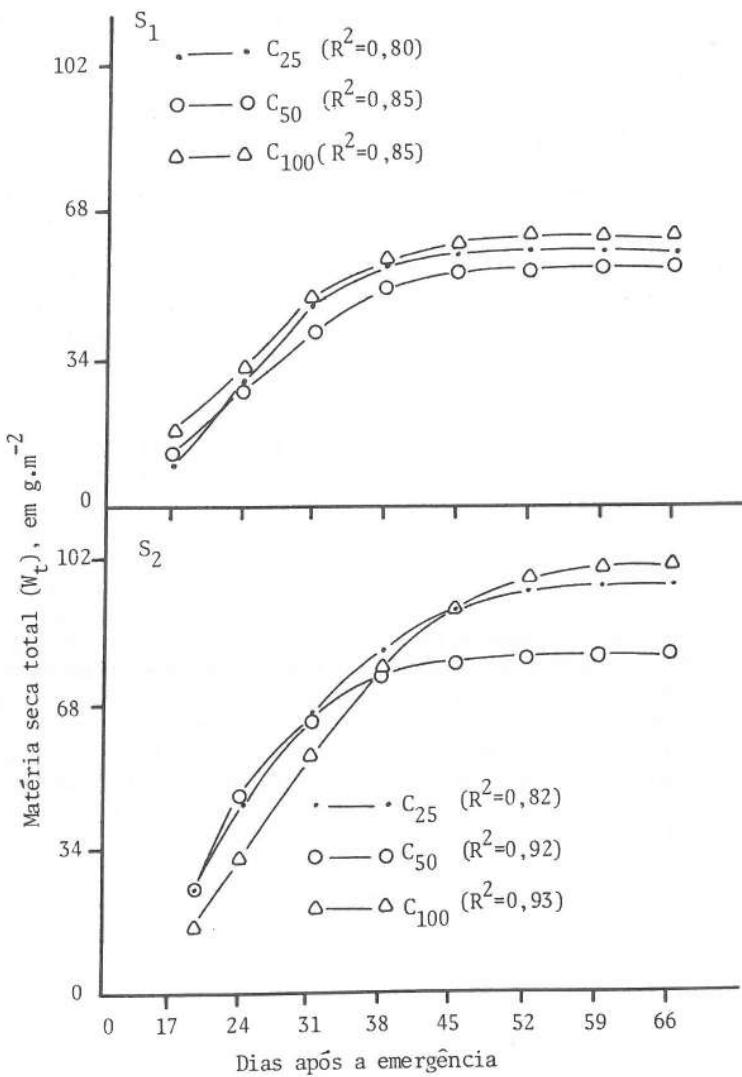


FIGURA 8 - Acúmulo de matéria seca total do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

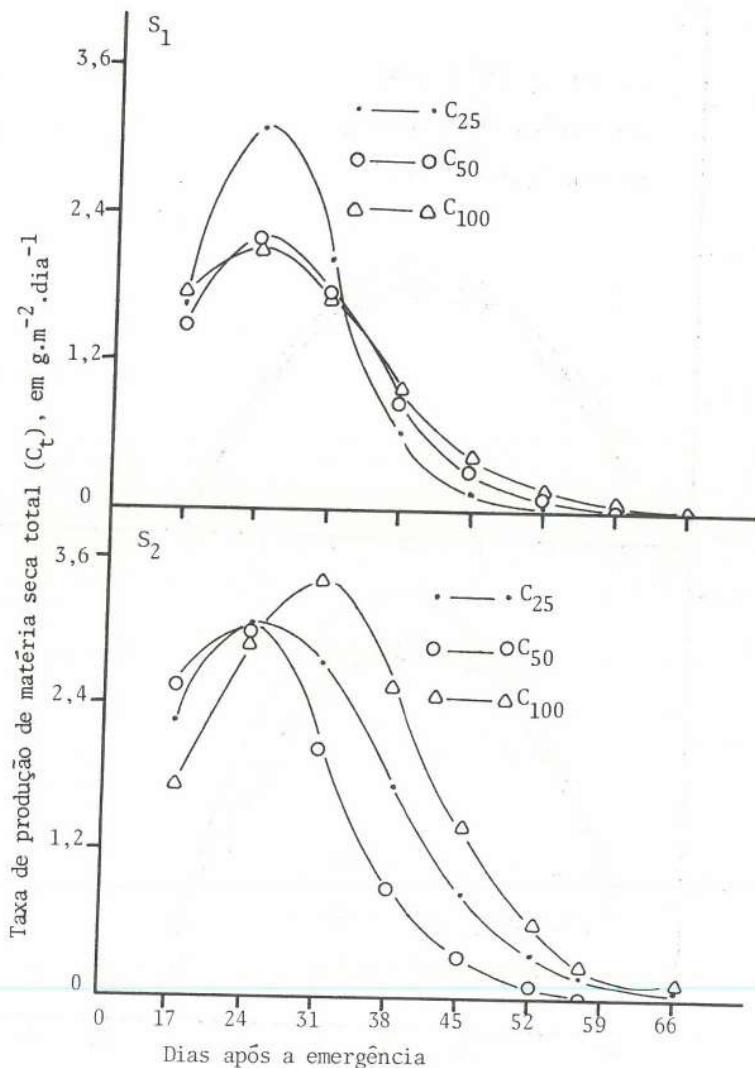


FIGURA 9 - Taxa de produção da matéria seca total do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

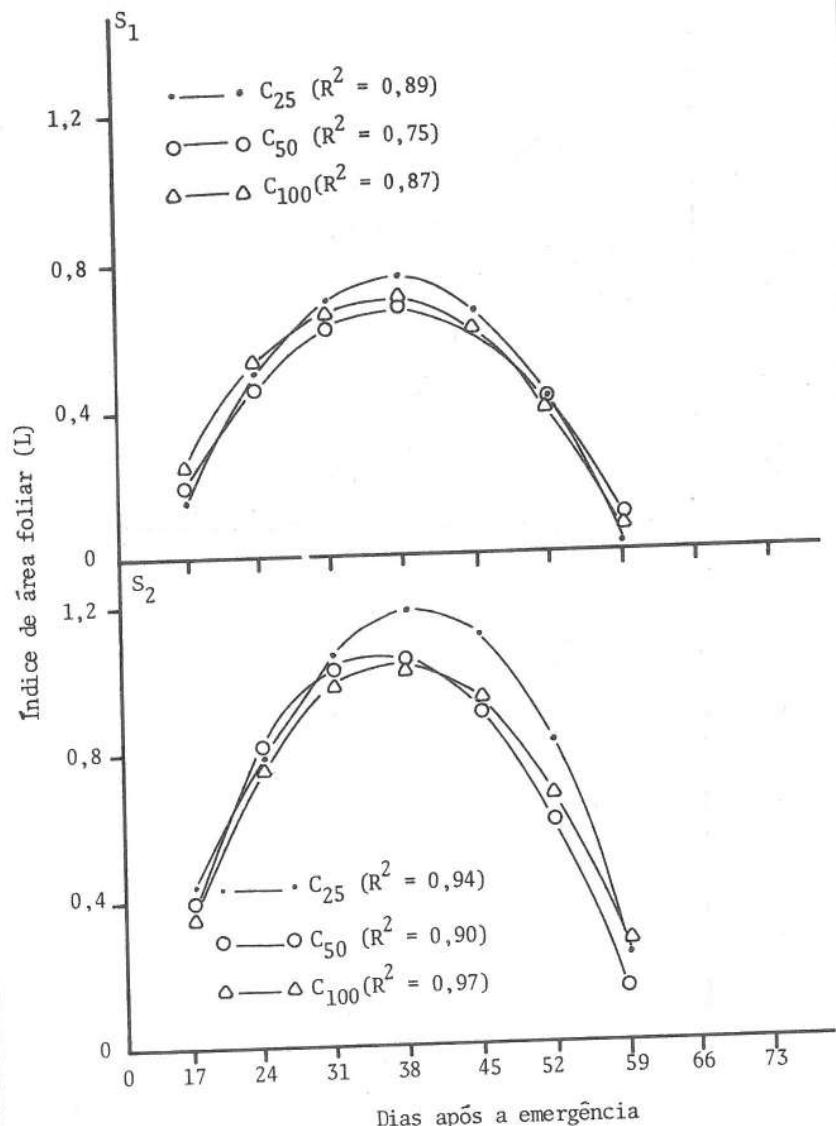


FIGURA 10 - Índice de área foliar do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

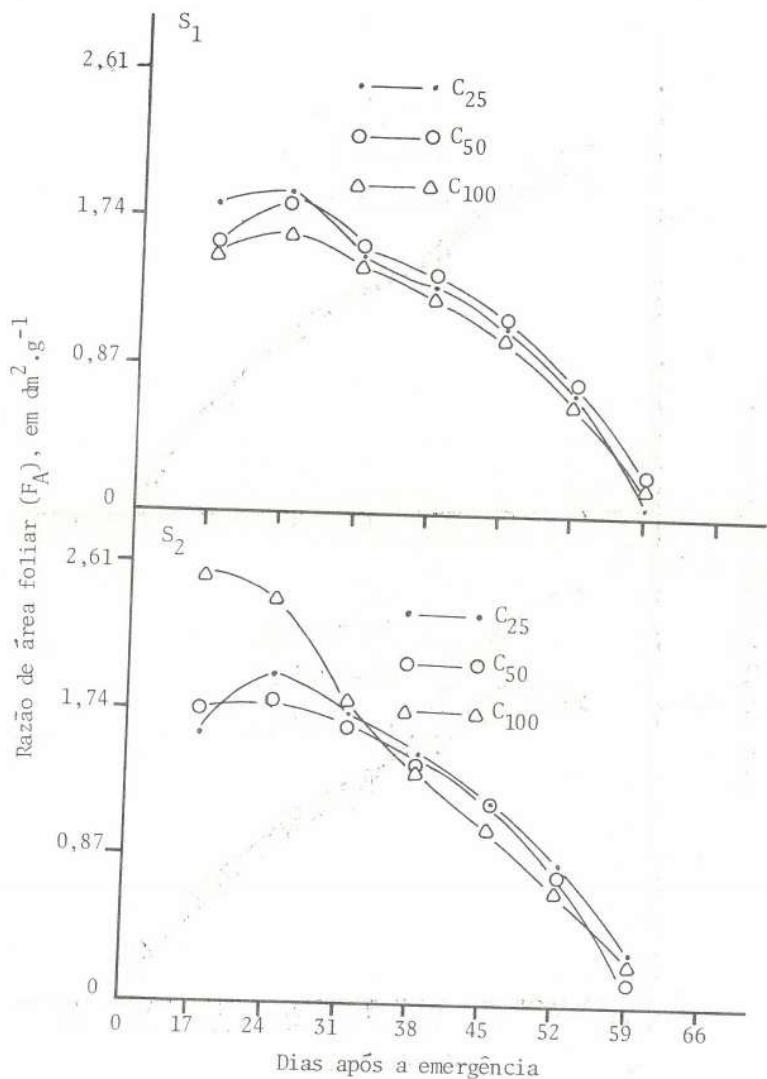


FIGURA 11 - Razão de área foliar do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar do milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

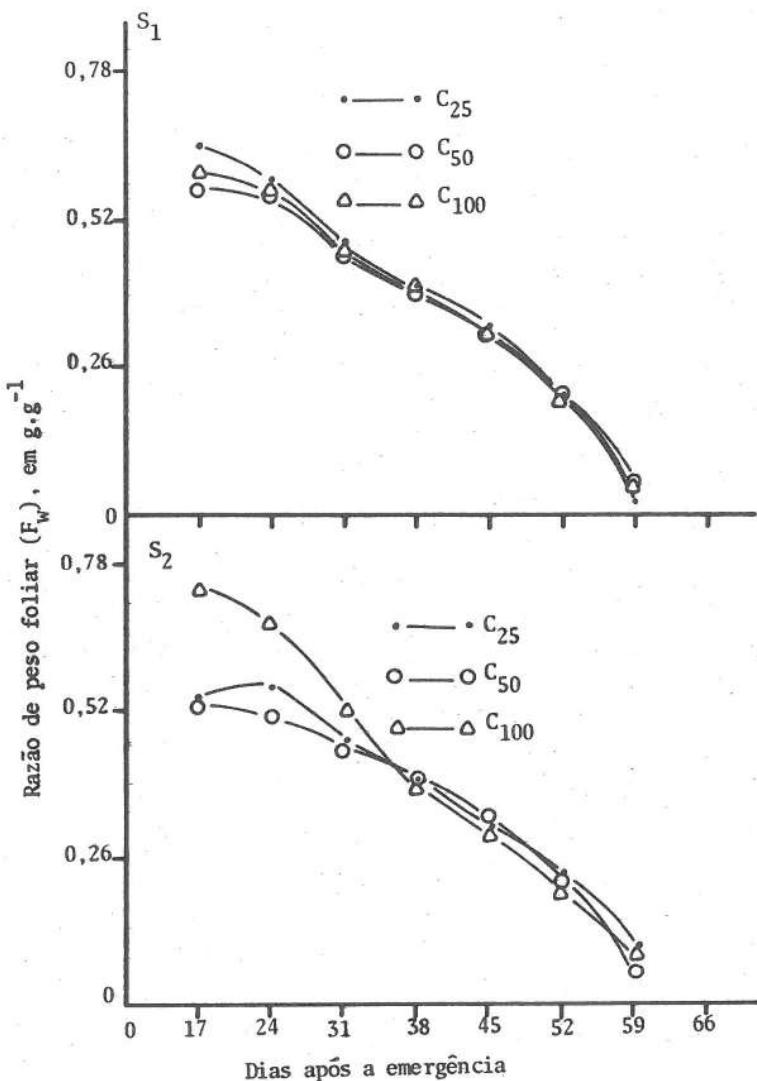


FIGURA 12 - Razão de peso foliar do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

A tendência dos valores de  $S_A$  pode ser vista na Figura 13. De modo geral, para ambos os sistemas de plantio,  $S_A$  aumentou, aproximadamente, até o trigésimo oitavo dia da emergência, estando esse acréscimo associado ao aumento da  $A_f$ , conforme o aumento verificado em L, mostrado na Figura 10. O decréscimo de  $S_A$  com o crescimento do feijoeiro indica que as folhas não se expandem sempre as mesmas taxas, enquanto o crescimento progride.

Nos dois sistemas de plantio, o feijoeiro apresentou valores iniciais de  $E_A$  altos, com um rápido decréscimo com o avanço em idade das plantas (Figura 9). A intensidade desse decréscimo foi mais acentuada no sistema ( $S_1$ ), talvez em decorrência da maior interferência da graminea, a medida que suas folhas cobriam os espaços entre as suas fileiras, o que deve ter ocasionado menores  $C_t$ . Os decréscimos e as oscilações de  $E_A$  estão relacionados diretamente com o sombreamento provocado pelas plantas de milho e pelas próprias folhas superiores do feijoeiro (Quadro 1). O período crítico de competição do feijoeiro ficou entre o décimo e o trigésimo dias, aproximadamente, da emergência. Como mostra a Figura 14, nesse período ocorreu redução mais acentuada na  $E_A$ .

O espaçamento de 1,00m ( $C_{100}$ ) entre covas de milho permitiu, após certo período de tempo, a obtenção de maiores valores de  $E_A$ , em relação aos demais espaçamentos, sendo mais evidente no sistema em que a leguminosa estava na mesma fileira do milho ( $S_2$ ), porém não foi verificado efeito da interação coleta x sistema x espaçamento. A causa dos diferentes valores foi ter  $C_t$  atingido valores superiores aos dos demais arranjos (Figura 9), provavelmente por permitir esse espaçamento ( $C_{100}$ ) melhor penetração e distribuição de luz dentro do dossel do feijoeiro (Quadro 1). Segundo MONTEITH (12), a radiação solar incidente,  $A_f$ , a respiração e a  $E_A$  são os principais fatores responsáveis pela taxa de produção de matéria seca de uma planta ou cultura.

Resta saber se, dentro de cada sistema, os diferentes valores da  $E_A$ , favorecidos pelo espaçamento entre covas de milho de 1,00m ( $C_{100}$ ), atuam favoravelmente na produção agrícola do feijoeiro e o que acontece com a produção do milho, pois, como se verifica na Figura 4, a  $E_A$  do milho foi inferior à encontrada nos demais espaçamentos, em virtude da maior competição intra-específica.

Na Figura 15, a taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ) do feijoeiro indica uma relação positiva com as características fisiológicas  $E_A$  (Figura 14) e  $F_A$  (Figura 11), estando os decréscimos da  $R_w$  relacionados com o aumento de material não fotosintetizante com o avanço em idade da planta. Observa-se, ainda na Figura 15, que a intensidade de decréscimo de  $R_w$  no sistema de plantio intercalar ( $S_1$ ) foi maior, principalmente nos primeiros 31 dias da emergência, em relação ao sistema do feijão plantado na mesma fileira da graminea ( $S_2$ ). Não foi observado efeito dos espaçamentos entre covas de milho sobre a  $R_w$  do feijão.

A tendência da conversão da energia solar ( $\epsilon$ ) do feijoeiro é mostrada na Figura 16. Os maiores valores de  $\epsilon$  no sistema do plantio intercalar ( $S_1$ ), em ordem crescente do espaçamento entre covas de milho, foram de 0,33, 0,26 e 0,26%, com valores médios de 0,11, 0,10 e 0,10%, na mesma ordem. Para o sistema de plantio do feijão na mesma linha do milho ( $S_2$ ), os maiores valores foram de 0,42, 0,38 e 0,43%, com valores médios de 0,16, 0,13 e 0,19%. Nota-se, portanto, que, dentro de um mesmo sistema de plantio, a variação nos valores de  $\epsilon$  pouco diferiu em relação aos espaçamentos entre covas na fileira de milho. Os maiores valores de  $\epsilon$  observados no sistema de plantio  $S_2$  estão relacionados com as maiores  $C_t$  obtidas nesse sistema de plantio.

De maneira geral, a redução acentuada em  $\epsilon$ , a partir do trigésimo primeiro dia da emergência, para todos os sistemas, está relacionada com o decréscimo na

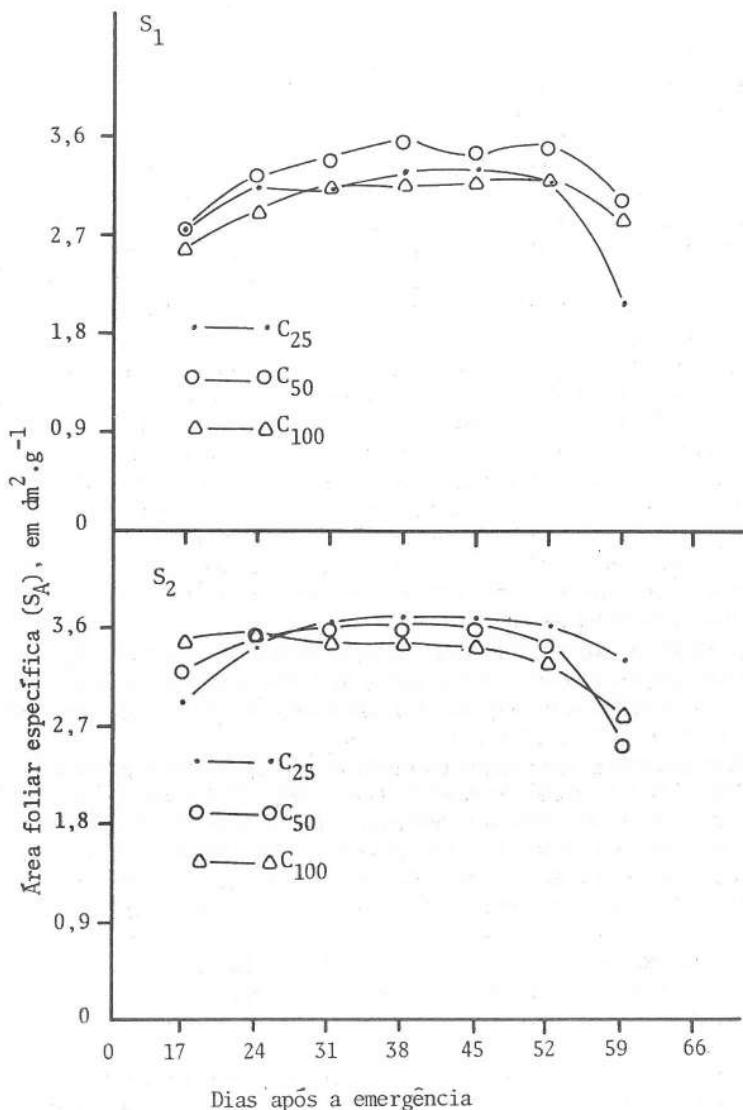


FIGURA 13 - Área foliar específica do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

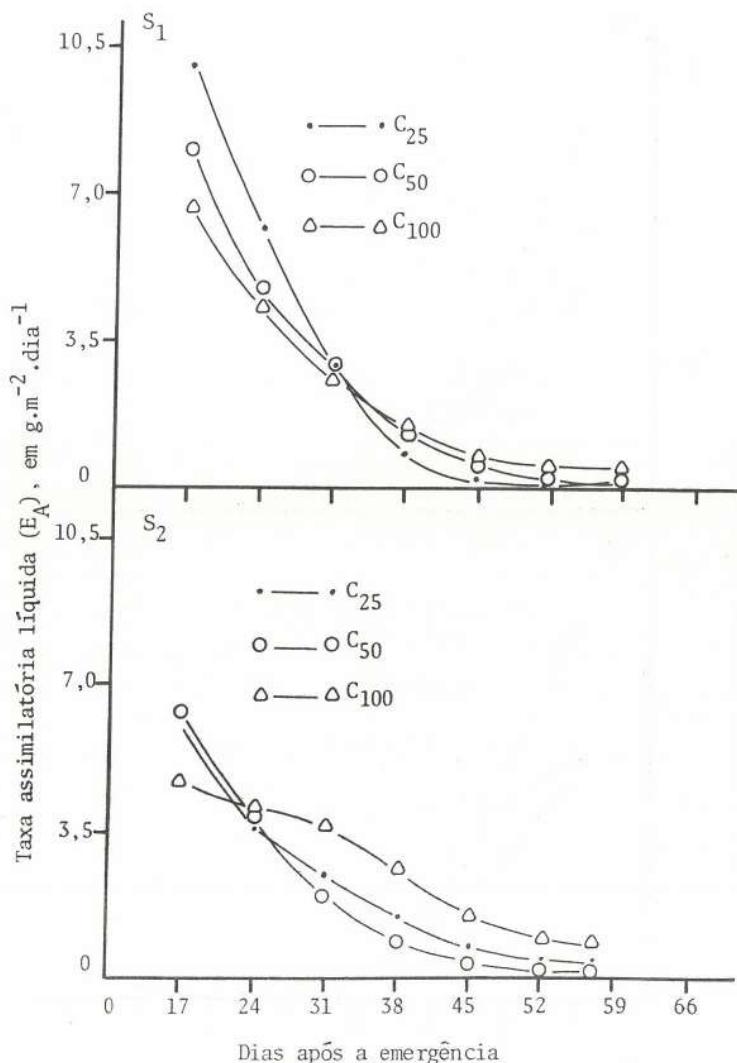


FIGURA 14 - Taxa assimilatória líquida do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

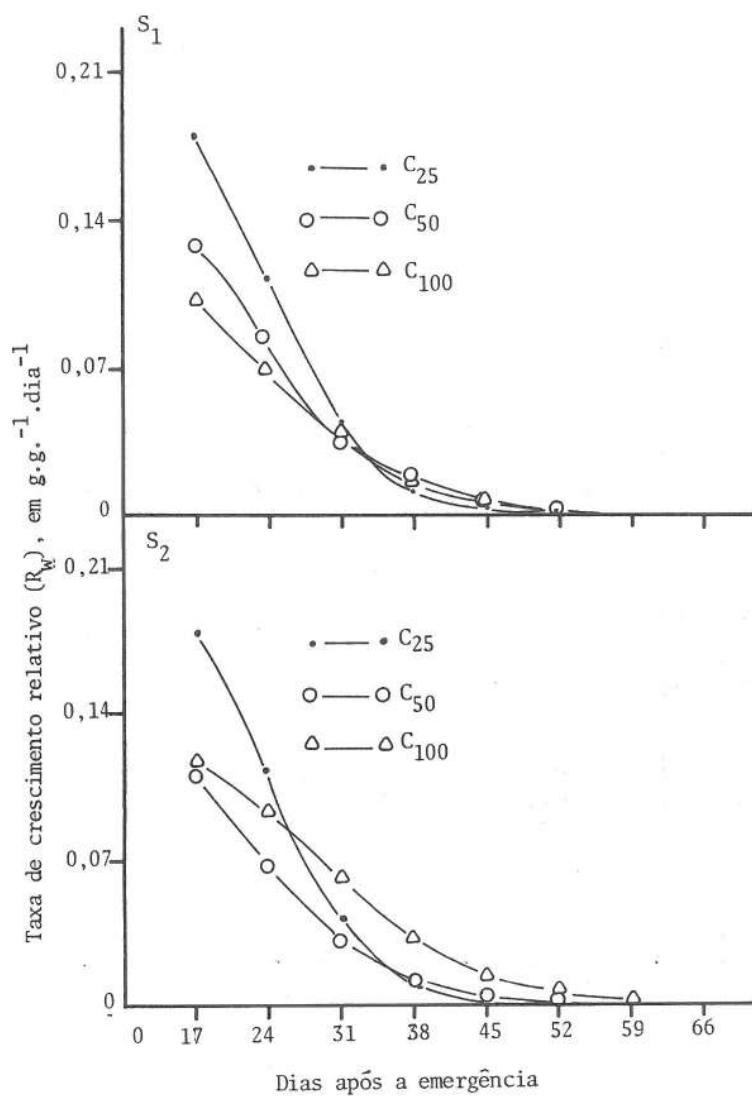


FIGURA 15 - Taxa de crescimento relativo do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho ( $S_1$ ) e na mesma fileira do milho ( $S_2$ ), arranjado em três espaçamentos entre covas ( $C$ ).

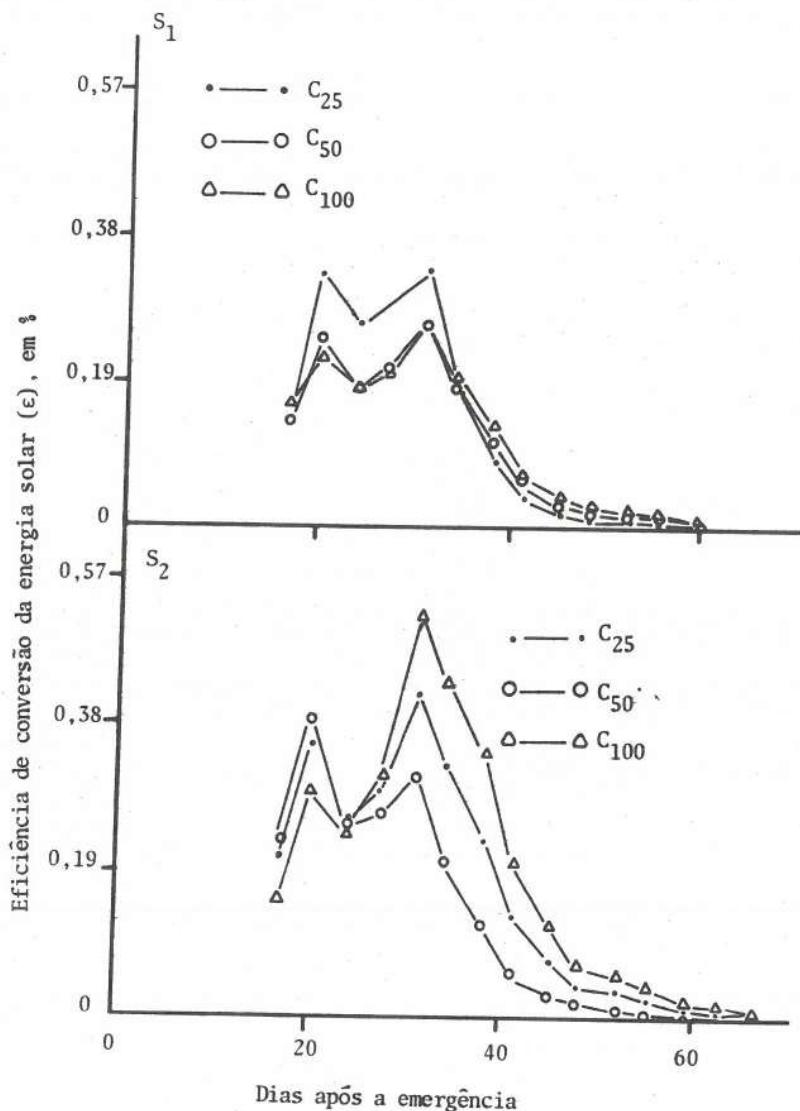


FIGURA 16 - Eficiência de conversão da energia solar do feijoeiro, nos sistemas de plantio intercalar ao milho (S<sub>1</sub>) e na mesma fileira do milho (S<sub>2</sub>), arranjado em três espaçamentos entre covas (C).

taxa de produção de matéria seca ( $C_t$ ), em consequência da menor  $E_A$ . Em condições de campo, utilizando o genótipo de feijão Ricobaio 1014, consorciado com milho, ARAÚJO (3) e MAGALHÃES e MONTOJOS (10), no monocultivo de feijão (cv. Carioca), verificaram valores de  $\epsilon$  próximos dos encontrados no presente trabalho.

### 3.3. Considerações Gerais

Fazendo uma avaliação conjunta dos sistemas de plantio, observa-se que tanto o milho quanto o feijão, no sistema de plantio de ambas as culturas numa mesma fileira ( $S_2$ ), apresentaram melhores resultados, em relação ao plantio intercalar ( $S_1$ ), para as características fisiológicas estudadas.

Ressaltam, nesse contexto, as características particulares de cada um dos dois sistemas, sobretudo no que diz respeito à adubação mineral de plantio e cobertura, quando as culturas estão numa única linha ou em linhas distintas. Especializam-se, em consequência, comportamentos diferenciais das plantas de cada sistema, quanto ao aproveitamento do fertilizante colocado. Isto concorreu, certamente, para o rendimento diferenciado das duas culturas nos dois sistemas e resultou, juntamente com as mudanças na penetração de luz para o feijoeiro, provocadas pela presença do milho em crescimento, nas variações nos caracteres fisiológicos dessa cultura nos dois sistemas, com destaque para o sistema de plantio na mesma linha ( $S_2$ ).

Com relação à distribuição espacial dentro da fileira do milho, verificou-se que as melhores respostas do milho estavam associadas à colocação de uma planta a cada 0,25m ( $C_{25}$ ), quando comparada a quatro plantas a cada 1,00m ( $C_{100}$ ), sendo a causa principal disso a maior competição intra-específica, tanto por luz como por outros fatores do ambiente. Nesse espaçamento ( $C_{100}$ ), o feijão tende a apresentar valores numéricos superiores para vários caracteres fisiológicos, porém não significativos estatisticamente, em relação aos demais espaçamentos entre covas de milho, provavelmente em consequência de uma melhor penetração da radiação solar incidente (Quadro 1), que favorece  $E_A$  e  $W_t$ . Todavia, esse espaçamento,  $C_{100}$ , não favorece a cultura de milho.

Neste estudo, a maneira como foi distribuído o fertilizante para as plantas dos dois sistemas e o microclima formado quando o feijão estava na mesma fileira do milho provavelmente concorreram para tornar as duas culturas mais eficientes na produção e assimilação de fotoassimilados, em relação ao  $S_1$ .

## 4. RESUMO E CONCLUSÕES

Foi conduzido, no campo, em Viçosa, Minas Gerais, um estudo com a finalidade de avaliar o efeito de dois sistemas de associação, feijão nas entrelinhas do milho e feijão na mesma linha do milho, e de três distribuições espaciais das plantas de milho nas linhas de plantio, 0,25, 0,50 e 1,00m sobre o crescimento das culturas e sobre a conversão da energia solar.

O sistema de plantio das duas culturas no mesmo sulco mostrou-se mais eficiente.

Independentemente do espaçamento entre covas de milho, o sistema de plantio simultâneo de milho e feijão na mesma linha proporcionou acúmulo de matéria seca total ( $W_t$ ), taxa de produção de matéria seca total ( $C_t$ ), índice de área foliar ( $L$ ), taxa assimilatória líquida ( $E_A$ ), taxa de crescimento relativo ( $R_w$ ), razão de área foliar ( $F_A$ ) e eficiência de conversão da energia solar ( $\epsilon$ ) maiores que os do sistema

intercalar. Os valores da razão de peso foliar ( $F_W$ ) e da área foliar específica ( $S_A$ ), todavia, foram maiores apenas para o feijoeiro.

Nos dois sistemas de plantio, o milho apresentou melhor rendimento no espaçamento de 0,25m entre covas na fileira (uma planta), em relação ao espaçamento de 1,00m (quatro plantas por cova). Não houve efeito dos espaçamentos entre covas de milho sobre as características fisiológicas do feijoeiro.

Os maiores valores observados de  $W_t$ ,  $C_t$  e  $\epsilon$  do milho e do feijão, quando estavam na mesma linha, em relação ao sistema intercalar, tiveram como causa fisiológica principal maiores  $E_A$ , resultantes de condições primárias inerentes ao sistema.

O espaçamento de 1,00m entre covas, com quatro plantas de milho por cova, além de não ter trazido benefício à cultura consorte, limitou o crescimento do milho.

## 5. SUMMARY

### (GROWTH AND CONVERSION OF SOLAR ENERGY IN TWO SYSTEMS OF MAIZE-BEAN (*Phaseolus vulgaris* L.) ASSOCIATION)

The effect of two systems of association (corn and beans in the same or alternating rows) and three maize plant spacings (0.25, 0.50, and 1.0 m) on plant growth and solar energy conversion was evaluated in a field trial in Viçosa, State of Minas Gerais, Brazil.

The same row planting system was more efficient than the alternating rows. Independent of the plant spacing, total dry matter accumulation ( $W_t$ ), total dry matter production rate ( $C_t$ ), leaf area index ( $L$ ) net assimilation rate ( $E_A$ ) relative growth rate ( $R_W$ ), leaf area ratio ( $F_A$ ), and solar energy conversion ( $\epsilon$ ) were greater in the same row plantings than in alternating row plantings. Values of specific leaf area ( $S_A$ ) leaf weight ratio ( $F_W$ ) were higher only for beans.

In both planting systems, maize showed better performance at the 0,25 m spacing (one plant per hill) than at the 1,0 m spacing (four plants per hill). There was no effect of maize plant spacing on physiological characteristics of beans.

The greater values observed for  $W_t$ ,  $C_t$  and  $\epsilon$  for same row maize and beans, as compared to alternating rows, had as their physiological cause greater  $E_A$  values caused by the conditions inherent in the system.

Spacing of 1,0 m between hills each with four maize plants, besides not benefiting the interspaced culture, limited the growth of the corn.

## 6. LITERATURA CITADA

1. ALMEIDA, A.A.F. Efeito da radiação solar e do nitrogênio sobre o crescimento, produção e composição química do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Negrito 897). Viçosa, UFV, 1985. 109 p. (Tese M.S.).
2. ALVIM, R. & ALVIM, P. de T. Efeitos da densidade de plantio no aproveitamento da energia luminosa pelo milho (*Zea mays* L.) e pelo feijão (*Phaseolus vulgaris* L.), em culturas exclusivas e consorciadas. *Turrialba*, 19:389-393. 1969.
3. ARAÚJO, G.A. de A. Crescimento das plantas e conversão da energia solar em sistemas de cultivos associados e exclusivos de milho e feijão. Viçosa, U.F.V., 1983. 129 p. (Tese D.Sc.).

4. BRANDES, D.; MAESTRI, M.; VIEIRA, C. & GOMES, F.R. Efeito da população de plantas e da época de plantio no crescimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris L.*). II. Análise de Crescimento. *Experientiae*, 15:29-49, 1973.
5. HIESEY, W.M. & MILNER, H.W. Physiology of ecological races and species. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 16:203-216. 1965.
6. KVET, J.; ONDOCK, J.P.; NECAS, J. & JAKVIS, P.G. (ed.). *Plant Photosynthetic Production-Manual of Methods*. Haia, Dr. W. Junk, N.V. Publishers, 1971 p. 343-391.
7. LOPEZ, N.F. Fisiologia do feijoeiro em consórcio cultural. In: Vieira, C. *O feijão em cultivos consorciados*. Viçosa, Imprensa Universitária da Universidade Federal de Viçosa, 1985. p. 4-13.
8. LOPEZ, N.F. & MAESTRI, M. Análise de crescimento e conversão de energia solar em população de milho (*Zea mays L.*) em Viçosa, Minas Gerais. *Revista Ceres*, 20:189-201. 1973.
9. MACHADO, E.C.; PEREIRA, A.R.; FAHI, J.E.; ARRUDA, H.V.; SILVA, W.J. da & TEIXEIRA, J.P.F. Análise quantitativa de crescimento de quatro variedades de milho em três densidades de plantio através de funções matemáticas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 17:825-833. 1982.
10. MAGALHÃES, A.C. & MONTOJOS, J.C. Effect of solar radiation on the growth parameters and yield of two varieties of common beans (*Phaseolus vulgaris L.*). *Turrialba*, 21:165-168. 1971.
11. MILTHORPE, F.L. & MOOBY, J. Vascular transport and its significance in plant growth. *Ann. Rev. Plant Physiol.*, 20:117-138. 1969.
12. MONTEITH, J.L. Light interception and radiative exchange in crop stands. In: EASTIN, J.D.; HASLINS, F.A.; SULLIVAN, C.T. & VAN BAEL, C.H.M. (ed.). *Physiological aspects of crop yield*. 2nd ed. Madison, Amer. Soc. of Agron., 1969. p. 89-111.
13. MOSS, D.N. Photosynthesis and barrenness. *Crop Science*, 2:366-367. 1962.
14. PORTES, T. de A. & CARVALHO, J.R.P. de. Área foliar, radiação solar, temperatura do ar e rendimentos em consorciação e em monocultivo de diferentes cultivares de milho e feijão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 18:755-762. 1983.
15. RADFORD, P.J. Growth analysis formulae. Their use and abuse. *Crop Science*, 7:171-175. 1967.
16. REIS, W.P. Análise de crescimento de milho e feijão em monocultivo e consorciados em diferentes arranjos da semeadura destas culturas. Lavras, ESAL, 1984. 113 p. (Tese M.Sc.).
17. 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.

18. SILVA, W.J. da; MONTOJOS, J.C. & PEREIRA, A.R. Análises de crescimento em dois híbridos simples de milho avaliados em duas densidades de população. *Ciência e Cultura*, 26:360-365. 1974.
19. STEUBING, L. *Pflanzenoökologisches Praktikum*. Berlim, Verlag Paul Parey, 1965. 262 p.
20. WATSON, D.J. The physiological basis of variation in yield. *Adv. Agron.*, 4:101-145. 1952.