

BALANÇO DE RADIAÇÃO EM CULTIVOS DE FEIJÃO-VAGEM COM E SEM COBERTURA DE POLIETILENO¹

JOSÉ LEONALDO DE SOUZA² e JOÃO FRANCISCO ESCOBEDO³

RESUMO - O balanço de radiação em cultivo agrícola é de fundamental importância na caracterização do microclima, na determinação das perdas de água e na acumulação de matéria seca da vegetação. Descreve-se, neste trabalho, o balanço de radiação em cultura do feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.), em Botucatu, SP (22° 54'S; 48° 27'W; 850 m), sob duas diferentes condições: a cultura em condições normais de campo e em casa de vegetação com cobertura de polietileno. As densidades de fluxos de radiação foram utilizadas para construir curvas diurnas dos componentes de radiação global (R_g), radiação refletida (R_r) e saldo de radiação (R_n). Relações aritméticas permitiram obter os componentes saldo de ondas curtas (R_c) e saldo de ondas longas (R_l). A análise desses componentes em relação ao índice de área foliar (LAI) em várias fases fenológicas da cultura mostrou R_g distribuído em 68%, 85%, 17% e 66%, 76%, 10% para R_n , R_c e R_l nos ambientes externo e interno à casa de vegetação, respectivamente. Em média, os componentes R_g e R_n internos à casa de vegetação equivalem a 63% e 42% de R_g externo.

Termos para indexação: radiação solar, casa de vegetação, *Phaseolus vulgaris*, microclima.

RADIATION BUDGET IN GREEN BEANS CROP WITH AND WITHOUT POLYETHYLENE COVER

ABSTRACT - The radiation budget in agricultural crops is very important on the microclimate characterization, on the water losses determination and on dry matter accumulation of vegetation. This work describes the radiation budget determination in a green beans crop (*Phaseolus vulgaris* L.), in Botucatu, SP, Brazil (22° 54'S; 48° 27'W; 850 m), under two different conditions: the normal field culture and in a polyethylene greenhouse. The densities of fluxes of radiation were used to construct diurnal curves of the components of global radiation (R_g), reflected radiation (R_r), net radiation (R_n). The arithmetic's relations allowed to obtain the components net short-waves (R_c) and net long-waves (R_l). The analysis of these components related to the leaf area index (LAI) in many phenological phases of the culture showed R_g distributed in 68%, 85%, 17% and 66%, 76%, 10% to R_n , R_c and R_l in the internal and external ambients in a polyethylene greenhouse, respectively.

Index terms: solar radiation, greenhouse, *Phaseolus vulgaris*, microclimate.

INTRODUÇÃO

A radiação solar que penetra na atmosfera e atinge a superfície da terra depende principalmente da turbidez atmosférica, da cobertura de nuvem e da topografia. Essa energia, ao atravessar a atmosfera, tem parte refletida pelas nuvens, parte espalhada pelas moléculas e partículas do ar e parte absorvida

pelo vapor de água, dióxido de carbono, ozônio e compostos nitrosos. A porção absorvida aumenta a temperatura do ar e por conseguinte aumenta a emissão de ondas longas para a superfície da terra e para o espaço. O balanço de radiação representa, em última análise, as fontes e sumidouros de energia que afetam as condições meteorológicas e o clima do planeta. O fluxo total de radiação incidente na superfície da terra, R_g , costumeiramente chamado de radiação global, é composto de componentes direta (que chega à superfície diretamente através da incidente) e difusa (que chega à superfície por espalhamento de nuvens ou por outras partículas que se difundem pelos constituintes atmosféricos). A distribuição da radiação solar é que determina a maioria

¹ Aceito para publicação em 26 de agosto de 1996.

² Meteorologista, Dr., Dep. de Meteorologia / CCEN, Universidade Federal de Alagoas, Cidade Universitária, BR 104, Km 14, CEP 57072-970 Maceió, AL.

³ Físico, Dr., Dep. de Física e Biofísica, IB/UNESP, Caixa Postal 510, CEP 18618-000 Botucatu, SP.

dos fenômenos no sistema atmosfera-terra. Sua atuação em larga e meso escala está ligada principalmente à circulação geral da atmosfera, aos ventos locais e às chuvas convectivas. O balanço de radiação de ambientes naturais e de cultivos em condições normais de campo é de fundamental importância nos estudos energéticos regionais e no entendimento das reações genótipo-ambiente, os quais determinarão a produção e a produtividade da vegetação (Monteith & Szeicz, 1961; Stanhill et al., 1966; Kalma, 1972; André & Viswanadham, 1983; Fontana et al., 1991).

Esses estudos em casa de vegetação com cobertura de polietileno são ainda escassos e pouco entendidos (Critten, 1993). Os componentes do balanço de radiação em ambientes vegetativos protegidos sofrem alteração, entre outros fatores, pela estrutura de sustentação e tipo de cobertura da casa de vegetação (Edwards & Lake, 1965; Stanhill et al., 1973; Farias et al., 1993; Ricieri, 1995; Souza, 1996), influenciando decididamente no crescimento e desenvolvimento das culturas.

O uso de casa de vegetação com cobertura de polietileno na produção agrícola é muito recente no Brasil. A criação de ambientes controlados ou de proteção à planta e ao solo com o uso de películas de polietileno vem ganhando cada dia mais adeptos. Culturas como: feijão-vagem, alface, abobrinha, berinjela, pimentão, tomate e morango vêm sendo cultivados a partir dos anos 80, com a utilização de películas de plástico (Plasticultura, 1993). Este trabalho objetiva quantificar componentes do balanço de radiação sobre cultivos de feijão-vagem, em condições normais de campo e no interior de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno.

MATERIAL E MÉTODOS

O balanço de radiação em determinada superfície é o saldo contabilizado entre toda a energia radiante recebida e perdida através desta superfície (Fritschen, 1965; Budiko, 1974). Nesses estudos, o saldo de radiação (R_n) pode ser definido como:

$$R_n = R_c + R_l \quad (1)$$

onde, R_c e R_l são os saldos de radiação de ondas curtas e de ondas longas, respectivamente. Esses componentes são obtidos por:

$$R_c = R_g - r R_a \quad (2)$$

$$R_l = r' R_a - R_e \quad (3)$$

onde R_g é a irradiância solar global; R_a é a radiação atmosférica; R_e é a radiação emitida pela superfície; r e r' são os albedos da superfície. O albedo é igual à razão entre a radiação eletromagnética refletida pela superfície e a incidente. A emissão de radiação de ondas longas de um corpo depende de sua temperatura, sendo descrita pela relação $R_e = \epsilon \sigma T^4$, onde ϵ é a emissividade, σ é a constante de Stefan-Boltzman e T é a temperatura absoluta do corpo.

Localização e procedimento experimental

A avaliação de componentes do balanço de radiação teve início com a instalação de um experimento agrometeorológico localizado ao lado do Departamento de Biofísica da Universidade Estadual Paulista, "Campus" de Rubião Júnior, Botucatu, SP, (22° 54'S; 48° 27'W; 850 m). As condições climáticas exibem temperatura média anual do ar de 20,6°C. O total médio anual de precipitação é de 1.506,3 mm, e a evapotranspiração média anual é de 692,0 mm. O solo é uma área plana de jardim gramado, sendo classificado como areia franca. A densidade global na profundidade de 0-20 cm ficou em 1,61 g cm⁻³, e a densidade real entre 0-60 cm variou de 2,5 a 2,7 g cm⁻³.

O experimento constou de duas parcelas de 7 m de comprimento e 5 m de largura. Uma das parcelas localizava-se no interior de uma casa de vegetação, tipo semi-arco, orientada na direção norte-sul geográfico, com cobertura de polietileno novo de 100 micra (com aditivos anti-ultravioleta e térmicos) e laterais de sombrite a 30%. A outra parcela ficou localizada no exterior da casa de vegetação, em condições normais de ambiente. O preparo do solo iniciou com a remoção da grama das parcelas e revolvimento da camada entre 0 e 20 cm, e, posteriormente, aplicou-se calcário dolomítico. A adubação foi feita com esterco de curral curtido, fórmula 4-14-8 e micronutriente FTE-BR-9. O plantio foi feito em 15 de outubro de 1994, utilizando a cultura do feijão-vagem rasteiro, variedade paulista, e aos 30 dias após o plantio fez-se uma adubação de cobertura com nitrocálcio.

No centro de cada parcela foram instalados dois piranômetros, para medições dos componentes de radiação global e refletida, e dois saldos radiômetros mediram os balanços entre as ondas curtas e longas nos dois ambientes. Exceto um piranômetro PSP da EPPLEY, que monitorou a radiação global externa à estufa, os demais piranômetros foram construídos e calibrados conforme

método apresentado por Escobedo et al. (1994). Os radiômetros foram mantidos a uma altura de 25 cm da superfície. As observações referentes à cultura do feijão constaram de fenologia, seguindo uma aproximação da escala fenológica de Fernandez et al. (1982), citado por Vieira (1991). A Tabela 1 contém as datas e dias do ano da ocorrência dos eventos fenológicos em cada ambiente, juntamente com o código de cada fase fenológica. Esses códigos fenológicos são designados pelas letras V para representar a fase vegetativa da cultura e pela letra R para referir-se à fase reprodutiva.

Além das observações fenológicas, foi determinada, semanalmente, desde o décimo segundo até o 61º dia após a emergência, a área foliar total. A área foliar foi obtida escolhendo-se três plantas de cada parcela; posteriormente, separavam-se as folhas do restante do material da planta e eram passadas num medidor de área (Automatic Area Meter Model AAM-7). O parâmetro área foliar da cultura foi ajustado ao modelo exponencial cúbico, utilizando-se o programa computacional adaptado por Portes & Castro Júnior (1991), gerando equações que serviram para estimar o índice de área foliar diário da cultura nos dois ambientes. Essas expressões referentes à cultura cultivada fora da casa de vegetação e em seu interior são, respectivamente,

$$Z = 0,01223621 \cdot \exp(0,41085183x - 9,061426 \cdot 10^{-3}x^2 + 6,148464 \cdot 10^{-5}x^3) \quad (4)$$

$$Z = 0,006253935 \cdot \exp(0,4536983x - 9,518649 \cdot 10^{-3}x^2 + 6,334359 \cdot 10^{-5}x^3) \quad (5)$$

onde Z é o índice de área foliar diário, e x, os dias após a emergência das plantas. O coeficiente de correlação referente ao cultivo externo, equação (4), foi 0,9857354, e, para o cultivo na casa de vegetação, equação (5), foi 0,9852696.

Análise do balanço de radiação nos dois ambientes

Os instrumentos de medição dos componentes de radiação foram ligados de forma diferencial a uma AM416 MULTIPLEXER e conectada a uma DATALOGGER 21X da CAMPBELL, programada para fazer uma medida do sinal em milivolts a cada segundo, e armazenar médias a cada cinco minutos, estando todo este sistema ligado a um microcomputador. As densidades de fluxos de radiação de cada 5 min foram utilizadas para construir curvas diurnas dos componentes de radiação global, refletida e saldo de radiação, utilizando o "software" MicroCal Origin. A análise do balanço de radiação é feita levando em consideração a condição de cobertura do céu, o índice de área foliar e a fenologia da cultura. O balanço de radiação no ciclo da cultura é representado graficamente, sendo analisado quantitativamente por fase fenológica e índice de área foliar médio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A distribuição do balanço de radiação, no período das 7 às 17 horas, de valores médios de 5 minutos, constituído dos componentes de radiação global (R_g), refletida (R_r), saldo de radiação (R_n) e saldo de ondas longas (R_l), obtidos em parcelas culti-

TABELA 1. Número e código do estágio fenológico, data e dia do ano da ocorrência de cada estágio fenológico nas parcelas externa e interna à casa de vegetação.

Número do estágio	Código do estágio fenológico ¹	Parcela externa		Parcela interna	
		Data	Dia	Data	Dia
1	V ₀	15/10/94	288	15/10/94	288
2	V ₁	22/10/94	295	22/10/94	295
3	V ₂	24/10/94	297	24/10/94	297
4	V ₃	31/10/94	304	31/10/94	304
5	V ₄	08/11/94	312	08/11/94	312
6	R ₅	15/11/94	319	17/11/94	321
7	R ₆	17/11/94	321	19/11/94	323
8	R ₇	24/11/94	328	26/11/94	330
9	R ₈	12/12/94	346	15/12/94	349
10	R ₉	22/12/94	356	24/12/94	358

¹ V₀ - data do plantio; V₁ - emergência das plantas; V₂ - folhas primárias completamente expandidas; V₃ - primeira folha trifoliolada completamente aberta; V₄ - terceira folha trifoliolada completamente aberta; R₅ - aparecimento do primeiro botão floral; R₆ - aparecimento da primeira flor aberta; R₇ - aparecimento do primeiro legume; R₈ - desenvolvimento de sementes (legume com comprimento máximo); R₉ - Início da maturação (primeiro legume apresenta mudança de cor).

vadas com feijão-vagem em ambientes externo e interno a uma casa de vegetação com cobertura de polietileno, são mostradas nas Figs. 1, 2, 3, 4 e 5. Os itens (a) dessas figuras representam condições radiativas observadas sobre a parcela externa, e os itens (b) referem-se ao ambiente radiativo do interior da casa de vegetação. A análise da distribuição diurna de energia focaliza aspectos sobre condições de cobertura do céu e fases fenológicas da cultura, desde o período vegetativo (V_3) até o período reprodutivo (R_8).

Componentes de radiação no ambiente externo à casa de vegetação

As condições de cobertura do céu afetam significativamente todos os componentes do balanço de radiação. A Fig. 1, correspondente ao dia 307 do ano de 1994, e fase fenológica V_3 da cultura, mostra, no período diurno, vários aspectos de cobertura do céu. A ocorrência de um eclipse solar nessa data estabeleceu aspectos ainda mais peculiares em relação ao balanço de radiação. O céu se apresenta claro no início da manhã até aproximadamente as 9 h, com eclipse entre as 9 e as 10 h; no restante do dia, variou de claro a parcialmente nublado, nublado, e claro. As densidades de fluxos de radiação apresentaram uma oscilação bastante elevada. O componente global atingiu $230,00 \text{ W m}^{-2}$ às 7:00 h, passando para $673,40 \text{ W m}^{-2}$ às 8:50 h, e caiu para $118,80 \text{ W m}^{-2}$ às 10:00 h (máximo do eclipse), e às 11:10 voltou a atingir $970,30 \text{ W m}^{-2}$. Às 13:15 h, foi observado um máximo de $1.112,00 \text{ W m}^{-2}$, e às 15:45 h (céu nublado), R_g caiu para $127,20 \text{ W m}^{-2}$. Às 17:00 h, observaram-se $347,40 \text{ W m}^{-2}$ para R_g . Comportamento semelhante foi verificado em todos os outros componentes. Na ocasião do eclipse, o componente radiação refletida atingiu $20,80 \text{ W m}^{-2}$, sendo menor que os $33,10 \text{ W m}^{-2}$ das 7:00 h. O saldo de ondas longas teve um comportamento inverso ao componente de radiação refletida na passagem do eclipse. Entre as 9:00 e as 10:00 h houve um decréscimo em R_r e um acréscimo para R_l ($110,00 \text{ W m}^{-2}$ as 9:30 h). Após o máximo do eclipse, R_r superou R_l . Os dias com céu parcialmente nublado mostraram uma maior amplitude de variação dos componentes de radiação em relação a dias com céu mais claro. Diferenças de $331,00$ e $30,00 \text{ W m}^{-2}$ em relação ao

componente global foram observadas nos dias do ano 312 e 315 (Figs. 2a e 3a) e fase vegetativa V_4 , no intervalo das 12:00 às 13:00 h, com céu parcialmente nublado e claro, respectivamente. Essas diferenças, relativas ao componente saldo de radiação, foram de $231,00 \text{ W m}^{-2}$ (céu parcialmente nublado) e $26,00 \text{ W m}^{-2}$ (céu claro). No dia do ano 342 (Fig. 4a) e fase fenológica R_8 , com céu claro, observaram-se diferenças de $49,00$ e $15,00 \text{ W m}^{-2}$ para os componentes R_g e R_n no intervalo das 12:30 às 13:30 h. Nessa mesma fase fenológica, porém, em condição de céu parcialmente nublado, dia do ano 344 (Fig. 5a), as diferenças atingiram $750,00$ e $400,00 \text{ W m}^{-2}$ para R_g e R_n , respectivamente.

Em dias de céu claro, o componente radiação refletida praticamente equivale ao saldo de ondas longas. Nota-se uma tendência do componente radiação refletida igualar-se a componente saldo de ondas longas nas horas de maior elevação solar. No período da manhã, o saldo de ondas longas tendeu a ser maior que R_r , na fase vegetativa V_4 . Na fase reprodutiva R_8 , o componente radiação refletida chega a superar R_l no período da manhã. Estes fatos podem ser atribuídos a uma maior área foliar da cultura na fase R_8 , tornando a superfície mais suavizada. Em dias parcialmente nublados, esses aspectos ficam mais difíceis de serem analisados.

Os dias com maior nebulosidade causaram uma diminuição em todos os componentes do balanço de radiação. Os totais diurnos em condição de céu parcialmente nublado, dias do ano 312 e 344 (Figs. 2a e 5a), foram em torno de $22,36 \text{ MJ m}^{-2}$, $15,67 \text{ MJ m}^{-2}$, $3,30 \text{ MJ m}^{-2}$, $3,40 \text{ MJ m}^{-2}$ e $24,88 \text{ MJ m}^{-2}$, $16,17 \text{ MJ m}^{-2}$, $3,98 \text{ MJ m}^{-2}$, $4,73 \text{ MJ m}^{-2}$ para R_g , R_n , R_r , e R_l , respectivamente. Em condição de céu claro, dias do ano 315 e 342 (Figs. 3a e 4a), esses totais foram $28,82 \text{ MJ m}^{-2}$, $18,72 \text{ MJ m}^{-2}$, $4,76 \text{ MJ m}^{-2}$, $5,34 \text{ MJ m}^{-2}$ e $29,87 \text{ MJ m}^{-2}$, $19,72 \text{ MJ m}^{-2}$, $5,00 \text{ MJ m}^{-2}$, e $5,14 \text{ MJ m}^{-2}$. Uma análise entre componentes do balanço de radiação, condição de cobertura do céu, estádios fenológicos e índice de área foliar consta da Tabela 2. Na fase vegetativa, a razão R_r/R_g foi menor em dias mais claros (65%) em relação a dias com maior nebulosidade (72%). Uma razão média de 67% para o período foi observada em relação a dias menos nebulosos contra 69% em relação a dias com maior cobertura de nuvens. A média geral ficou em 68%, o que concorda com os resultados de

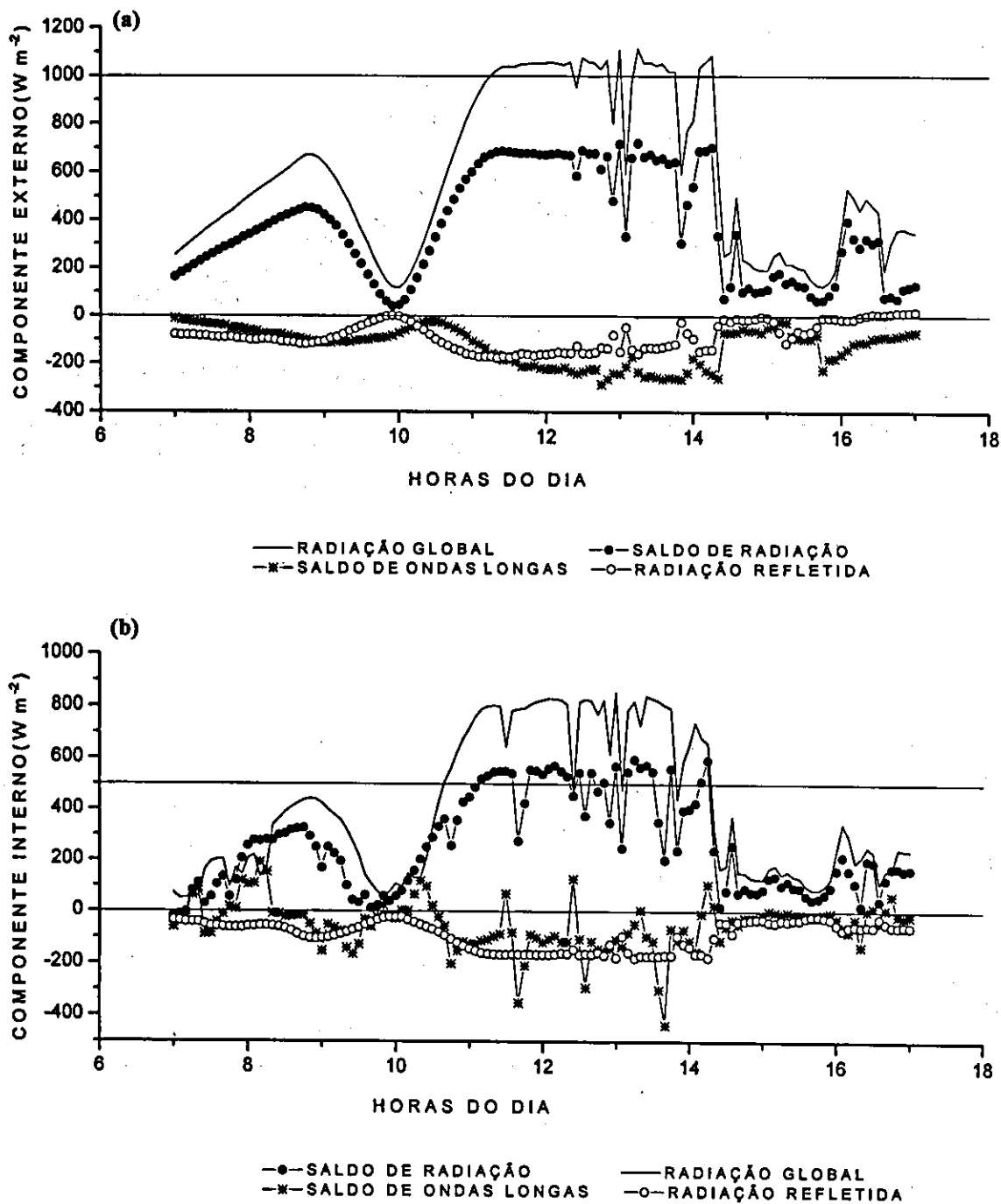


FIG. 1. Componentes de radiação sobre a cultura de feijão-vagem no exterior (a) e no interior (b) de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno, em condição de céu claro, com eclipse, parcialmente nublado e nublado, correspondente à fase fenológica V_3 , no dia 307 do ano de 1994.

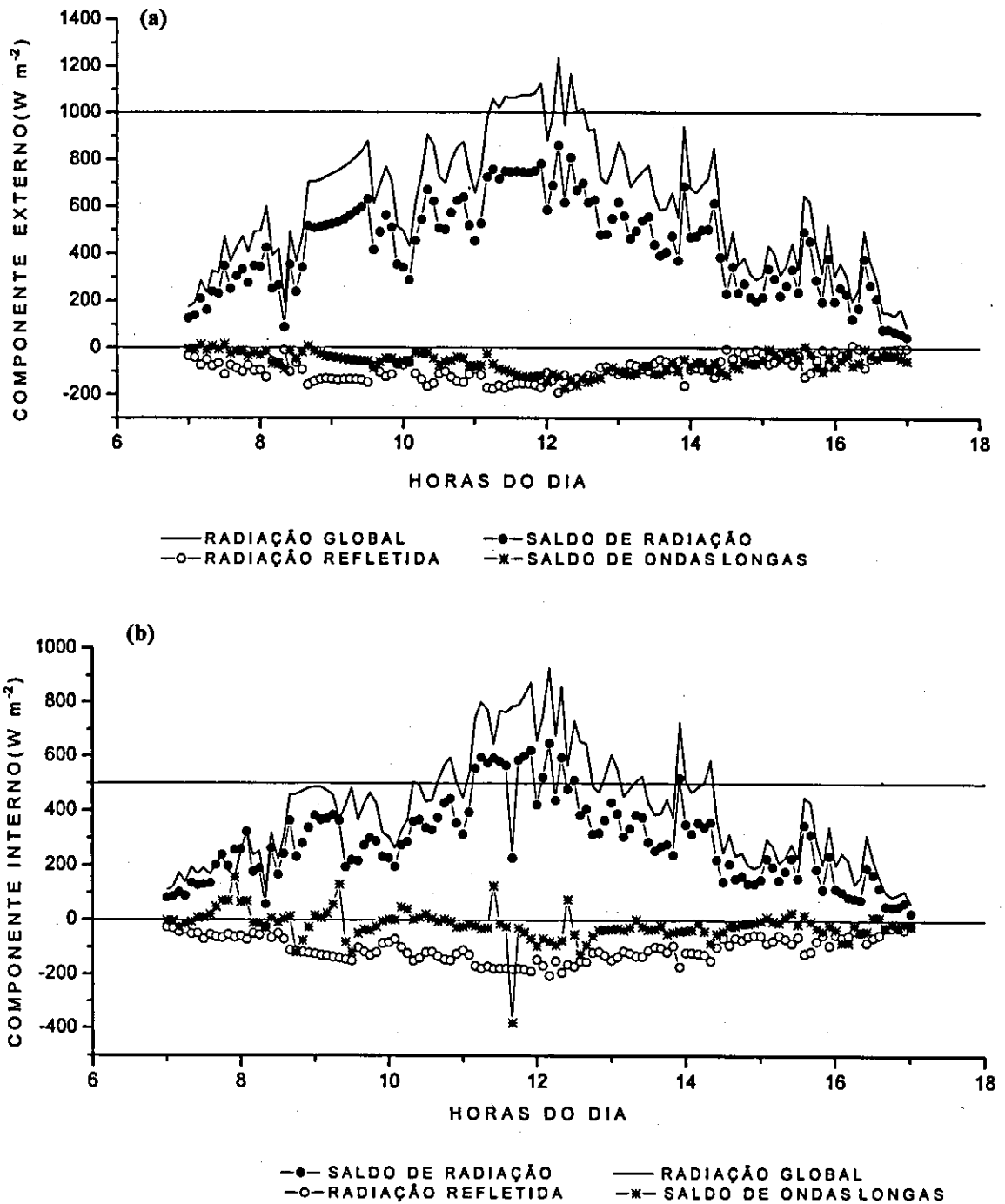


FIG. 2. Componentes de radiação sobre a cultura de feijão-vagem no exterior (a) e no interior (b) de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno, em condição de céu parcialmente nublado, correspondente à fase fenológica V_4 , no dia 312 do ano de 1994.

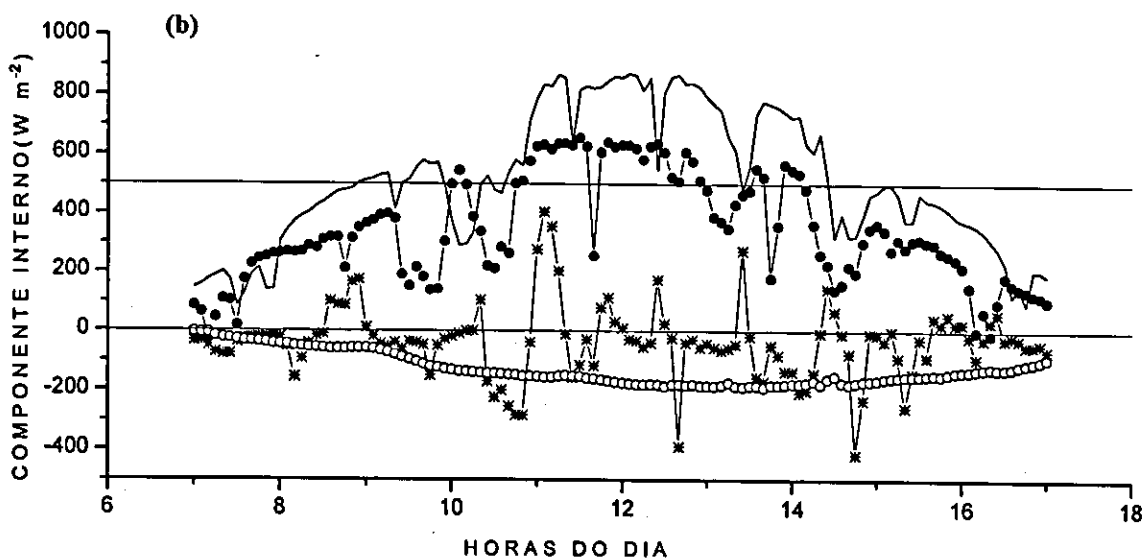
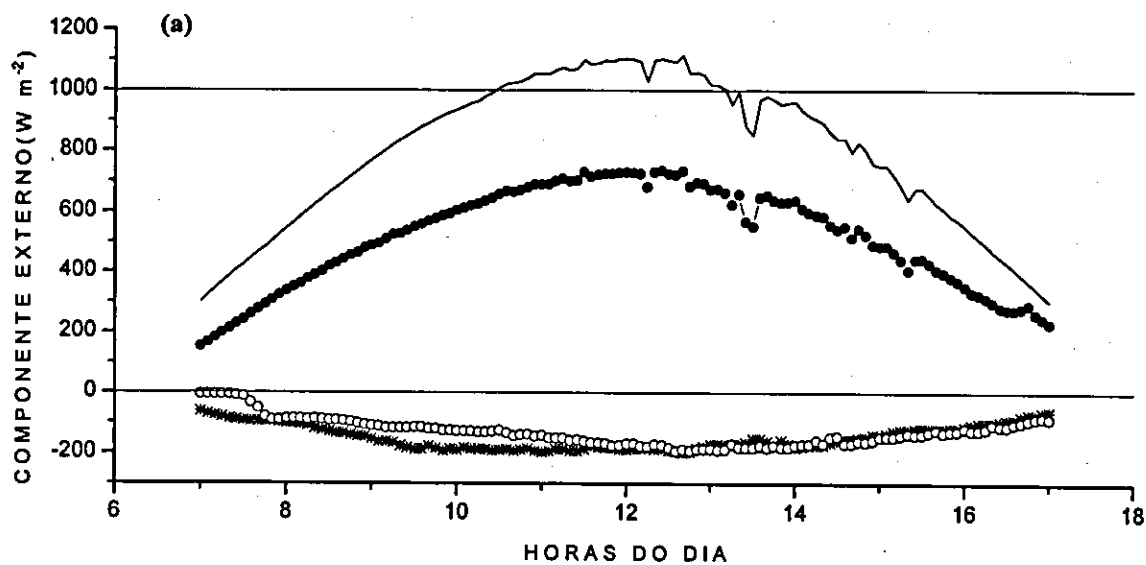


FIG. 3. Componentes de radiação sobre a cultura de feijão-vagem no exterior (a) e no interior (b) de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno, em condição de céu mais claro, correspondente à fase fenológica V_4 , no dia 315 do ano de 1994.

Ekern (1964), Decker (1964) e Chang (1961), citados por Stanhill et al. (1966), em culturas irrigadas de abacaxi, milho e cana-de-açúcar. Com relação ao índice de área foliar, nota-se, de maneira geral, tendência de a razão R_n/R_g diminuir com o aumento da área foliar. Este aspecto fica melhor representado em termos médios por fase fenológica (Tabela 3). A diminuição de R_n/R_g com o aumento do índice de área foliar é consequência de uma maior perda por reflexão em ondas curtas (maior área foliar diminui os espaços entre linhas e entre plantas e conseqüentemente diminui a radiação, que pode ficar presa por múltiplas reflexões) e pode também ser favorecida por maior perda em ondas longas, graças a um maior aquecimento do dossel vegetativo. Em média, a fase fenológica V_1-V_4 com um albedo (r) de 0,15, índice de área foliar 0,88 e $R_l/R_g = 0,14$, mostrou que R_n foi 71% de R_g enquanto na fase fenológica R_7-R_8 com $r = 0,17$, índice de área foliar igual a 4,00 e $R_l/R_g = 0,19$, a razão R_n/R_g ficou em 64%.

Componentes de radiação no ambiente interno à casa de vegetação

O comportamento dos componentes de radiação observados sobre a cultura do feijão-vagem, no interior da casa de vegetação, altera-se tanto pela redução causada pela cobertura de plástico, mas também pela incidência de radiação nas estruturas de sustentação da casa de vegetação. Em dias parcialmente nublados, a visão geral da distribuição das densidades de fluxos no tempo assemelha-se às energias observadas externamente. Mantidos os mesmos intervalos de tempo analisados em componentes externos, a amplitude de variação interna foi também maior em dias parcialmente nublados. As diferenças nas densidades de fluxos de radiações global e saldo de radiação variaram, respectivamente, de 260,00 $W m^{-2}$ e 186,00 $W m^{-2}$ com céu parcialmente nublado, dia do ano 312 (Fig. 2b), a 4,00 $W m^{-2}$, e 31,00 $W m^{-2}$ com céu claro, dia do ano 315 (Fig. 3b). Nos dias do ano 344 (Fig. 5b) e 342

TABELA 2. Balanço de radiação diurno na parcela externa à casa de vegetação cultivada com feijão-vagem, em relação ao índice de área foliar (IAF) e às condições de cobertura do céu mais nublado (MN), parcialmente nublado (PN), mais claro (MC), claro (C) e totalmente claro (TC).

Dia do ano	Estádio fenológico	IAF	R_n MJ m^{-2}	R_n/R_g %	1 - r %	R_l/R_g %	Céu
296	V ₁	-	15,423	72	87	-15	MN
312	V ₄	1,30	15,669	70	85	-15	PN
315	V ₄	1,98	18,717	65	84	-19	MC
326	R ₇	4,29	18,530	68	85	-17	PN
327	R ₇	4,39	20,005	68	85	-17	C
342	R ₈	3,57	19,725	66	83	-17	TC
344	R ₈	3,34	16,168	65	84	-19	PN
358	R ₉	2,44	20,664	69	89	-20	MC
Média	-	-	18,11	68	85	-17	-

TABELA 3. Balanço de radiação diurno e índice de área foliar em fases fenológicas da cultura do feijão-vagem sobre a parcela externa à casa de vegetação.

Fase fenológica	R_n MJ m^{-2}	R_n/R_g %	1 - r %	R_l/R_g %	IAF
V ₁ - V ₄	273,35	71	85	-14	0,88
V ₄ - R ₅	109,465	68	83	-15	2,23
R ₅ - R ₇	135,459	66	83	-17	3,94
R ₇ - R ₈	265,879	64	83	-19	4,00
R ₈ - R ₉	138,857	84	84	-17	2,68
Total	923	71	84	-16	-

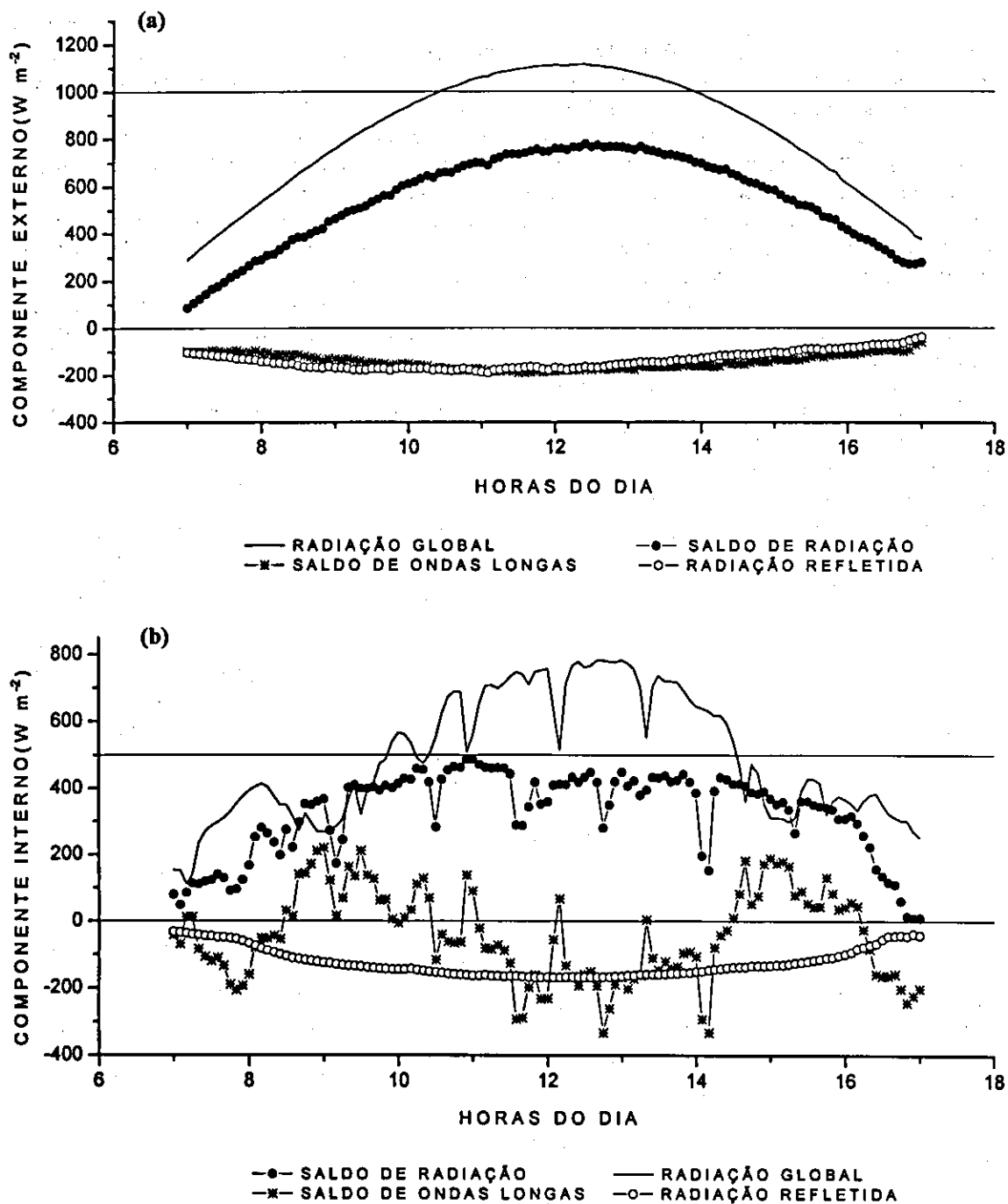


FIG. 4. Componentes de radiação sobre a cultura de feijão-vagem no exterior (a) e no interior (b) de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno, em condição de céu totalmente claro, correspondente à fase fenológica R_1 , no dia 342 do ano de 1994.

(Fig. 4b), os mesmos componentes atingiram diferenças de $700,00 \text{ W m}^{-2}$, $330,00 \text{ W m}^{-2}$ e $10,00 \text{ W m}^{-2}$, $9,00 \text{ W m}^{-2}$, em relação ao céu parcialmente nublado e claro, respectivamente. Em dias claros, é marcante a presença de picos de mínimos relativos a R_g e R_n e oscilações de máximos e mínimos em relação a R_l , devido ao sombreamento nos sensores dos radiômetros, causado pelas estruturas de sustentação da casa de vegetação. Excluindo esses picos "fabricados" por obstrução da radiação, o componente radiação refletida supera o saldo de ondas longas tanto em dias claros como em dias com céu parcialmente nublado. Os totais diurnos nos dias do ano 312 e 315 foram $14,67 \text{ MJ m}^{-2}$, $10,35 \text{ MJ m}^{-2}$, $3,69 \text{ MJ m}^{-2}$, $0,64 \text{ MJ m}^{-2}$ e $18,45 \text{ MJ m}^{-2}$, $13,07 \text{ MJ m}^{-2}$, $4,74 \text{ MJ m}^{-2}$, $0,65 \text{ MJ m}^{-2}$ em relação ao componente radiação global, ao saldo de radiação, à radiação refletida, e ao saldo de ondas longas, em condição de céu parcialmente nublado e claro, respectivamente. Nos dias do ano 342 e 344, a integração diurna referente à energia dos componentes no interior da casa de vegetação foram $17,76 \text{ MJ m}^{-2}$, $11,79 \text{ MJ m}^{-2}$, $4,48 \text{ MJ m}^{-2}$, $1,49 \text{ MJ m}^{-2}$ e $15,65 \text{ MJ m}^{-2}$, $10,21 \text{ MJ m}^{-2}$, $3,84 \text{ MJ m}^{-2}$, $1,60 \text{ MJ m}^{-2}$ para R_g , R_n , R_r e R_l com céu parcialmente nublado e claro.

Na Tabela 4, apresentam-se o balanço de radiação referente aos componentes obtidos no interior da casa de vegetação sobre variadas condições de cobertura do céu, o índice de área foliar e o estágio fenológico. Em média, os parâmetros R_n/R_g , $1-r$ e R_l/R_g foram 66%, 76% e 10%. O mesmo comporta-

mento observado no exterior se evidencia também no interior quanto à nebulosidade. A razão R_n/R_g mostrou-se um pouco menor em dias claros. O aumento do índice de área foliar também mostrou tendência a ser inversamente proporcional a R_n/R_g , creditada a uma maior emissão de ondas longas e maior reflexão de ondas curtas. Na Tabela 5, esse aspecto é ilustrado em termos médios por fases fenológicas. Na fase V_1 - V_2 com índice de área foliar médio de 0,77, a razão R_n/R_g foi 72%, e R_l/R_g foi 5%, enquanto na fase R_3 - R_7 com índice de área foliar médio de 5,55, a razão R_n/R_g foi 59%, e R_l/R_g foi 16%.

Balanço total sobre o ciclo da cultura nos dois ambientes

A Fig. 6 mostra o comportamento dos componentes R_g , R_r , R_n e R_l - desde a emergência (V_1), dia do ano 297, até sete dias após a maturação (R_9), dia do ano 358, nas parcelas cultivadas fora (a) e dentro (b) da casa de vegetação com cobertura de polietileno -, calculados pelas integrações diurnas (das 6:00 h às 18:00 h). Observa-se uma concordância entre máximos e mínimos decorrentes de dias mais claros e dias com chuva. O componente radiação global externa atingiu máximos em torno de $31,00 \text{ MJ m}^{-2}$, entre os dias do ano 327 e 358, correspondente à aproximação da passagem do sol pelo zênite do local de observação. O componente radiação global interna indicou máximos em torno de $20,00 \text{ MJ m}^{-2}$, ou seja, 35% menos que no ambiente externo. Os máximos de R_n ficaram em torno de

TABELA 4. Balanço de radiação diurno na parcela interna à casa de vegetação cultivada com feijão-vagem em relação ao índice de área foliar (IAF) e às condições de cobertura do céu mais nublado (MN), parcialmente nublado (PN), mais claro (MC), claro (C) e totalmente claro (TC).

Dia do ano	Estádio fenológico	IAF	R_n MJ m^{-2}	R_n/R_g %	$1-r$ %	R_l/R_g %	Céu
296	V_1	—	11,202	81	80	+1	MN
312	V_4	1,22	10,346	71	75	-4	PN
315	V_4	2,01	12,070	65	75	-10	MC
326	R_7	5,64	10,138	58	75	-17	PN
327	R_7	5,88	10,004	53	76	-23	C
342	R_8	6,04	11,790	66	75	-9	TC
344	R_8	5,78	10,213	65	75	-10	PN
358	R_9	4,70	11,498	66	78	-12	MC
Média	-	-	10,90	66	76	-10	-

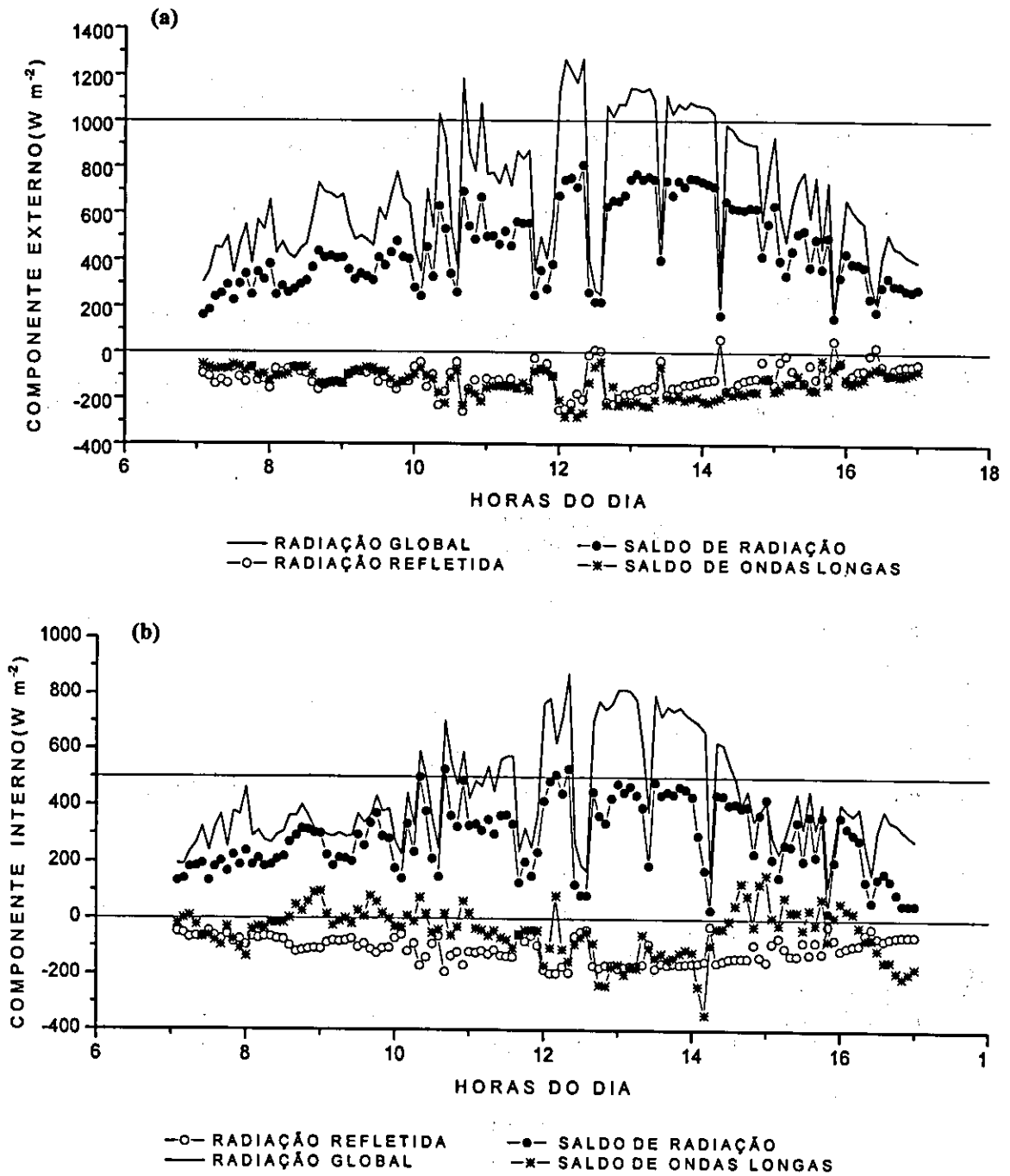


FIG. 5. Componentes de radiação sobre a cultura de feijão-vagem no exterior (a) e no interior (b) de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno, em condição de céu parcialmente nublado, correspondente à fase fenológica R_p , no dia 344 do ano de 1994.

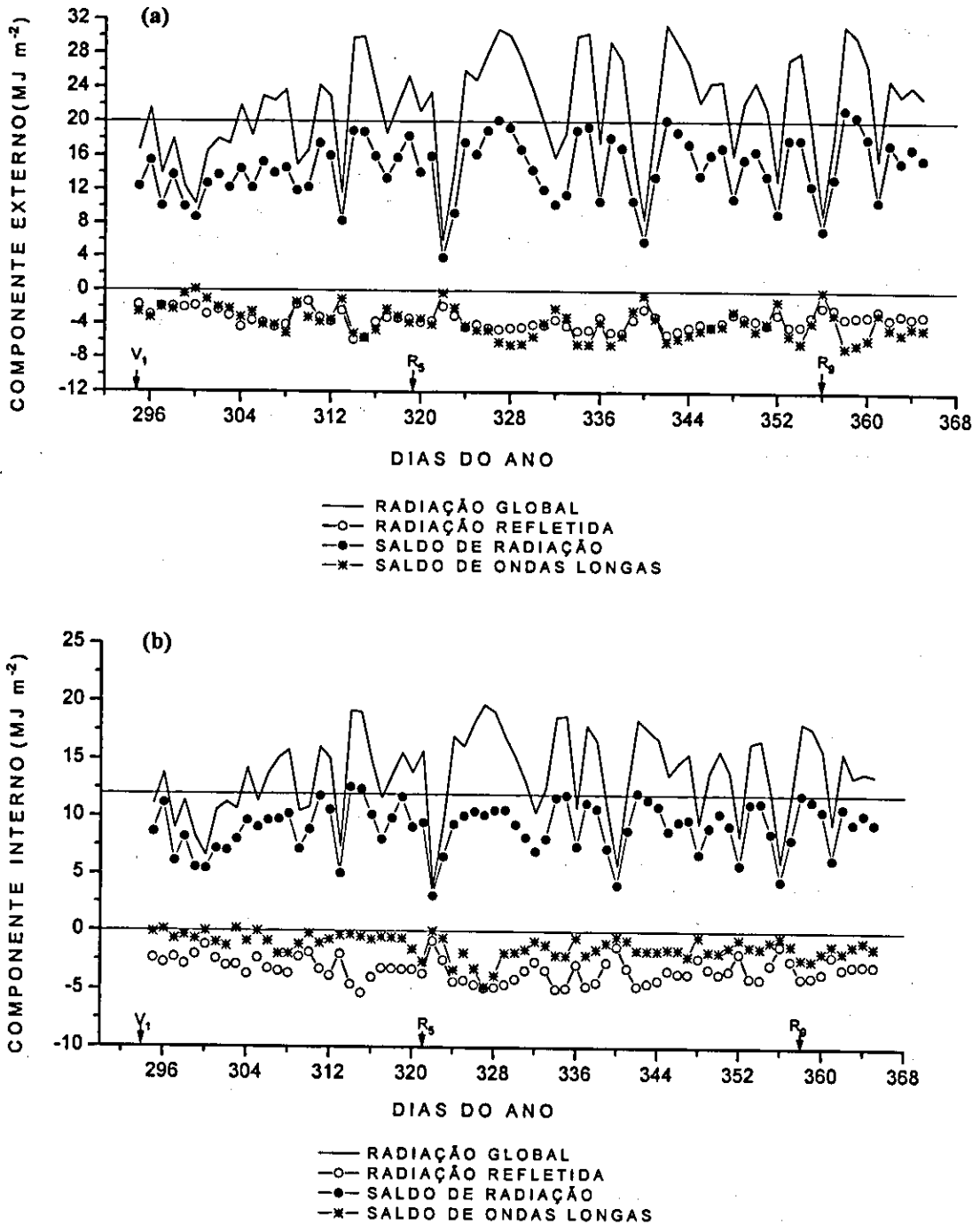


FIG. 6. Balanço de radiação diurno sobre a cultura do feijão-vagem, desde a emergência (V_1) até a maturação (R_2), cultivada em parcela externa (a) e interna (b) de uma casa de vegetação com cobertura de polietileno.

TABELA 5. Balanço de radiação diurna e índice de área foliar em fases fenológicas da cultura do feijão-vagem sobre a parcela interna à casa de vegetação.

Fase fenológica	R_n MJ m ⁻²	R_n/R_g %	1 - r %	R_l/R_g %	IAF
V ₁ - V ₄	154,77	72	77	-5	0,77
V ₄ - R ₅	88,71	67	75	-8	2,69
R ₅ - R ₇	80,73	59	75	-16	5,55
R ₇ - R ₈	176,20	65	75	-10	6,27
R ₈ - R ₉	81,57	66	77	-11	4,95
Total	582	66	76	-10	-

20,00 MJ m⁻², no ambiente externo, contra, aproximadamente, 12,00 MJ m⁻² no ambiente da casa de vegetação, correspondendo a uma diminuição interna em R_n de 40%. As diferenças a menos observadas no ambiente interno da casa de vegetação, no dia do ano 315 (fase fenológica V₄), em condição de céu claro, foram 37%, 34% e 68% em relação a R_g , R_n e R_l . O componente R_r não mostrou diferença. No dia do ano 312 (fase fenológica V₄), com céu parcialmente nublado, essas diferenças internas a menos, referentes aos mesmos componentes, ficaram em 35%, 31% e 79%. Nessa condição, o componente radiação refletida também não variou entre os dois ambientes. No dia do ano 342 (fase fenológica R₅), com céu claro, as porcentagens a menos obtidas no cultivo da casa de vegetação, em relação à parcela cultivada fora, foram 41%, 40% e 73%, enquanto no dia 344 (fase fenológica R₈), com céu parcialmente nublado, essas diferenças ficaram em 38%, 37% e 67%, em relação ao componente global, saldo de radiação e saldo de ondas longas, respectivamente. O componente R_r mais uma vez não se alterou entre os ambientes. Talvez a maior área foliar do ambiente interno favorecido por múltiplas reflexões da estrutura de sustentação seja o

fator que manteve o componente radiação refletida da cultura nos dois ambientes praticamente inalterados, visto que a incidência de radiação sobre a cultura do ambiente da casa de vegetação diminuiu.

O componente saldo de ondas longas, no ambiente externo, em dias mais claros, principalmente após o estágio fenológico R₅, tendeu a ser maior que o componente radiação refletida. Na casa de vegetação, o componente refletido superou o componente saldo de ondas longas durante todo ciclo da cultura. O máximo de R_l externo atingiu em torno de 6,00 MJ m⁻², no dia do ano 327, fase fenológica R₇ e índice de área foliar 4,4. Na casa de vegetação, correspondeu a 4,70 MJ m⁻² com um índice de área foliar de 5,88. O componente radiação refletida exibiu máximos de 4,80 MJ m⁻² no interior da casa de vegetação, e 4,60 MJ m⁻² em seu exterior. As relações entre componentes obtidos no interior e exterior da casa de vegetação, em várias fases fenológicas sob diversas condições de cobertura do céu, constam na Tabela 6. A média geral dos componentes internos R_g , R_n , R_r e R_l equivaleram a 63, 42, 15 e 6% de R_g externo. O componente saldo de radiação interno ficou em 62% de R_n externo.

TABELA 6. Relações entre componentes de radiação obtidos sobre cultivo do feijão-vagem nos ambientes externo (E) e interno (I) à casa de vegetação com cobertura de polietileno, em condições de cobertura do céu mais nublado (MN), parcialmente nublado (PN), mais claro (MC), claro (C) e totalmente claro (TC).

Dia do ano	Estádio fenológico	$R_g I/R_g E$ %	$R_n I/R_n E$ %	$R_n I/R_g E$ %	$R_f I/R_g E$ %	$R_l I/R_g E$ %	Céu
296	V ₁	64	73	51	13	0	MN
312	V ₄	66	66	46	17	3	PN
315	V ₄	64	70	45	16	2	MC
326	R ₇	65	56	37	16	11	PN
327	R ₇	64	50	34	16	14	C
342	R ₈	60	60	40	15	5	TC
344	R ₈	63	63	41	15	6	PN
358	R ₉	58	56	39	13	7	MC
Média	-	63	62	42	15	6	-

CONCLUSÕES

1. O balanço médio de radiação, sob variadas condições de cobertura do céu e de área foliar da cultura, em condições normais de ambiente, varia com a fase fenológica e o índice de área foliar.

2. O balanço de radiação, no cultivo da casa de vegetação, com cobertura de polietileno, varia com o estágio fenológico e índice de área foliar.

3. As condições radiativas do ambiente da casa de vegetação com cobertura de polietileno, principalmente a difusividade da radiação, favorecem o desenvolvimento foliar da cultura.

REFERÊNCIAS

- ANDRÉ, R.G.B.; VISWANADHAM, Y. Radiation balance of soybeans grown in Brazil. *Agricultural Meteorology*, v.30, p.157-173, 1983.
- BUDIKO, M.I. *Climate and life*. New York: Academic Press, 1974. 507p.
- CRITTEN, J.L. A review of the light transmission into greenhouse crops. *Acta Horticulturae*, v.328, p.9-31, 1993.
- EDWARDS, R.I.; LAKE, J.V. Transmission of solar radiation in a small east-west glasshouse glazed with diffusing glass. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v.10, p.197-201, 1965.
- ESCOBEDO, J.F.; RICIERI, R.P.; SOUZA, J.L. Termopilhas de filmes finos por evaporação de metais. I. Metodologia. In: CONGRESSO IBÉRICO DE ENERGIA SOLAR, 7., Vigo. *Anais... Vigo: Asociación Española de Energía Solar/International Solar Energy Society*, 1994. v.1, p.3-8.
- FARIAS, J.R.B.; BERGAMASCHI, H.; MARTINS, S.R.; BERLATO, M.A. Efeito da cobertura plástica sobre a radiação solar. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*, v.1, p.31-36, 1993.
- FONTANA, D. C.; BERLATO, M.A.; BERGAMASCHI, H. Balanço de radiação da soja em região subtropical do Brasil. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, p.411-418, 1991.
- FRITSCHEN, J.L. Miniature net radiometer improvements. *Journal of Applied Meteorology*, v.4, p.525-532, 1965.
- KALMA, J.D. The radiation balance of tropical pasture, II. Net all - wave radiation. *Agricultural Meteorology*, v.10, p.261-275, 1972.
- MONTEITH, J.L.; SZEICZ, G. The radiation balance of bare soil and vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. v.7, p.159-170, 1961.
- PLASTICULTURA: a agricultura embalada para o presente. UNESP - Jaboticabal em Notícias, v.4, n.19, p.1-12, 1993.
- PORTES, T.A.; CASTRO JÚNIOR, L.G. Análise de crescimento de plantas: um programa computacional auxiliar. *Revista Brasileira de Fisiologia Vegetal*, v.3, n.1, p.53-56, 1991.

- RICIERI, R.P. **Transmissão da radiação solar global e difusa em estufas plásticas e nebulizadoras.** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1995. 91p. Dissertação de Mestrado.
- SOUZA, J.L. **Saldo radiômetro com termopilha de filme fino e aplicação no balanço de radiação e energia em cultivo de feijão-vagem (*Phaseolus vulgaris* L.) com e sem cobertura de polietileno.** Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas, 1996. 174p. Tese de Doutorado.
- STANHILL, G.; HOFSTEDE, G.J.; KALMA, J.D. Radiation balance of natural and agricultural vegetation. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v.92, p.128-140, 1966.
- STANHILL, G.; FUCHS, M.; BAKKER, J.; MORESHET, S. The radiation balance of glasshouse rose crop. *Agricultural Meteorology*, v.11, p.385-404, 1973.
- VIEIRA, C. Influência das épocas de plantio sobre as etapas de desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.) *Revista Ceres*, v.38, p.439-443, 1991.

