

## BALANÇO DE RADIAÇÃO SOBRE UM POMAR DE GOIABEIRAS

**Magna Soelma Beserra de Moura, Pedro Vieira de Azevedo, Bernardo Barbosa da Silva**  
DCA/CCT/UFPB – Campus II, Av. Aprígio Veloso, 882, Bodocongó  
58109-000, Campina Grande, PB - Fone: (83) 310-1202  
E-mail.: magna@dca.ufpb.br; pvieira@dca.ufpb.br e bernardo@dca.ufpb.br

**José Monteiro Soares**  
EMBRAPA/Semi-Árido - BR 428, Km 152, Zona Rural, Caixa Postal 23  
56300-970, Petrolina, PE - Fone: (87) 3862-1711  
E-mail.: monteiro@cpatsa.embrapa.br

### ABSTRACT

This study had the objective of evaluating the behavior of the radiation balance components over a guava orchard in the region of the middle reaches San Francisco River Valley. A field experiment was installed in the Senator Nilo Coelho Irrigation Project, Nucleus 09, plot 1194, planted with guava, var. 'Paluma', spaced 6m between trees and 6m between rows. A micrometeorological tower was mounted in a select plant for installing sensors of net radiation ( $R_n$ ), incident ( $R_i$ ) and reflected ( $R_r$ ) solar radiation, air temperature ( $T_a$ ) and infrared canopy temperature ( $T_s$ ). The analogical signals were collected by a Datalogger (CR 21X of the Campbell Scientific, Inc). They were used for the determination of components of the radiation balance. It was observed an increase of the radiation balance components from phases 1 to 4 and the net radiation ( $R_n$ ) represented over 60% of the incident solar radiation ( $R_i$ ). The  $R_r$  values were about 20% of  $R_i$ . It was possible to conclude that the guava orchard had an amount of 438,1 W/m<sup>2</sup> of available energy in phase 1; 440,3 W/m<sup>2</sup> in phase 2; 511,8 W/m<sup>2</sup> on the phase 3 and 644,5 W/m<sup>2</sup> in phase 4 to be used for evapotranspiration process and to heating the air and the soil.

### INTRODUÇÃO

A goiabeira (*Psidium guajava* L.) é uma planta originária da América Tropical, havendo uma indeterminação quanto ao local mais provável de sua origem, que se situa entre o México e a América do Sul. O cultivo da goiabeira integra importantes projetos comerciais de fruticultura irrigada no Nordeste brasileiro (Gonzaga Neto, 1990), pois trata-se de uma atividade frutícola que permite várias formas de aproveitamento dos frutos e apresenta amplas possibilidades de consumo nos mercados interno e externo. No Submédio do Rio São Francisco, somente no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho (PISNC), até o ano de 1997, a área plantada com esta espécie era de 701 ha, constituindo-se em uma ótima opção para a diversificação da fruticultura regional (CODEVASF, 2000). O cultivo irrigado da goiabeira no semi-árido do Nordeste brasileiro, além de apresentar nível de produtividade relativamente superior ao registrado em outras regiões do país, pode produzir até duas safras por ano, devido principalmente a alta disponibilidade de energia solar durante todo o ano, o que permite ao produtor irrigante comercializar seus frutos nos centros consumidores do país e do exterior em diferentes épocas do ano. As condições climáticas, especialmente a luminosidade e a temperatura, exercem importante influência na qualidade do fruto, uma vez que afetam as trocas gasosas nas plantas.

A energia utilizada nos processos de aquecimento e resfriamento do ar e do solo, na transferência de vapor d'água da superfície para a atmosfera e no metabolismo das plantas e dos animais, é proveniente da radiação solar. Portanto, é importante o conhecimento da partição dos componentes do balanço de radiação à superfície, para diversos estudos, particularmente aqueles relacionados com as perdas de água da superfície para a atmosfera.

O saldo de radiação constitui-se da soma algébrica dos balanços de radiação de ondas curtas e longas, considerando-se positivos os fluxos incidentes e negativos aqueles emitidos pela superfície. Seu conhecimento é muito importante, dada sua influência sobre o comportamento de vários elementos meteorológicos e na evapotranspiração das culturas, proporcionando importantes alterações no clima e microclima em diferentes regiões do globo terrestre. Neste sentido, diversos pesquisadores desenvolveram trabalhos a fim de determinar o comportamento e/ou a quantificação da radiação disponível para as trocas termodinâmicas entre a atmosfera, o solo e a vegetação.

Teixeira *et al.* (1997) determinaram o saldo de radiação acima ( $R_{n,s}$ ) e abaixo ( $R_{n,i}$ ) da folhagem da cultura da videira e sua correlação com o índice de área foliar (IAF), em Petrolina – PE. Observaram que a relação de  $R_{n,i}/R_{n,s}$  decresce e o IAF cresce rapidamente, alternado as proporções de energia disponível ao sistema de

cultivo, absorvidas pelo solo e pelas plantas. Já Alves & Azevedo (1997), ao determinarem o balanço de radiação num cultivo de melão e observaram que o saldo de radiação representou 55%, 59% e 64% da radiação solar incidente no 5<sup>o</sup>, 20<sup>o</sup> e 48<sup>o</sup> dia após a semeadura, respectivamente.

André *et al.* (1988) estudaram as variações diárias dos componentes do balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica de terra firme, e encontraram valores máximos da  $R_g$  iguais a 900 W/m<sup>2</sup> e 1000 W/m<sup>2</sup>, e de  $R_n$  iguais a 600 W/m<sup>2</sup> e 700 W/m<sup>2</sup>, respectivamente, para as estações seca e chuvosa. Moura (1998) observou que o balanço de radiação à superfície do solo descoberto em Mossoró – RN, para primavera apresentou superioridade, em termos de valores, quando comparado com a estação de inverno, em todos os seus componentes, com acréscimo de 22% para a radiação solar incidente; 34,3% para a refletida e 5,81% para o saldo de radiação.

O saldo de radiação de ondas longas pode ser determinado por diferença, quando se dispõe de equipamentos que possibilitem medir simultaneamente o saldo de radiação, a radiação solar incidente e refletida. Atualmente, existem aparelhos que permitem a realização do balanço de radiação de ondas longas, bem como a determinação de seus componentes; no entanto, ainda são instrumentos de difícil acesso devido ao seu elevado custo de aquisição. Devido ao elevado preço de aquisição e manutenção dos equipamentos, bem como, de um sistema de aquisição dos dados, diversos pesquisadores têm desenvolvido expressões empíricas para estimar a radiação de ondas longas. Tais expressões, não obstante práticas, têm o inconveniente de apresentarem resultados pouco confiáveis. Em princípio, a utilização dessas expressões para regiões com características diferentes das de origem, pode conduzir a erros significativos. Por esse motivo, seu uso deve ser recomendado apenas após serem testadas e ajustadas às condições locais. Neste sentido, Santos *et al.* (1984) apresentam uma revisão a respeito da radiação de ondas longas, em Tucuruí, incluindo estudos sobre emissividade, irradiância, efeito das nuvens e a estimativa da radiação de ondas longas utilizando observações de superfície.

Esta pesquisa objetivou avaliar o comportamento diurno e estacional dos componentes do balanço de radiação sobre um pomar de goiabeiras irrigado na região do Sub-Médio do Rio São Francisco.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Utilizou-se um pomar de goiabeiras (*Psidium guajava* L.), variedade ‘Paluma’, com 2,5 anos de idade, plantado num espaçamento 6,0 m entre plantas por 6,0 m entre fileiras, totalizando 532 plantas em 1,92 ha. O pomar está implantado no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, núcleo 09, no lote número 1194, distante aproximadamente 8,5 km da cidade de Petrolina-PE (09°09’S; 40°22’W; 365 m).

O experimento de campo foi conduzido no período de 10/05 a 30/11/2000. O ciclo produtivo do pomar foi dividido nas seguintes fases fenológicas: Fase 1 (F1) - brotação, crescimento vegetativo e maturação de frutos remanescentes do ciclo anterior; Fase 2 (F2) - crescimento vegetativo e floração; Fase 3 (F3) - crescimento de frutos e Fase 4 (F4) - maturação e colheita de frutos.

Numa planta selecionada no pomar foi montada uma torre micrometeorológica, na qual foram instalados sensores para medição do saldo de radiação ( $R_n$ ) e dois radiômetros Eppley para medição da radiação solar incidente ( $R_i$ ) e refletida ( $R_r$ ) pela cultura, instalados a uma altura de 1,5 m acima da copa; um termômetro ao infra-vermelho para medir a temperatura do dossel ( $T_s$ ) e um outro à base de termopar, para obtenção da temperatura do ar ( $T_a$ ). Esses sensores foram conectados a um sistema de aquisição de dados (micrologger 21X da Campbell Scientific, Inc), programado para realizar varreduras a cada 5 segundos e armazenar as médias para intervalos de 15 minutos.

O balanço de radiação sobre a goiabeira foi obtido pela soma dos fluxos de radiação de ondas curtas e longas, conforme a expressão:

$$R_n = (R_i - R_r) + (R_{li} - R_{le}) \quad (1)$$

onde:  $R_n$  é o saldo de radiação;  $R_i$  e  $R_r$  são os fluxos de radiação solar incidente e refletida pela superfície, respectivamente;  $R_{li}$  é a radiação de onda longa incidente e  $R_{le}$  é a radiação de onda longa emitida pela superfície.

O fluxo de radiação emitido pela superfície ( $R_{le}$ ) foi calculado por:

$$R_{le} = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T_s^4 \quad (2)$$

na qual  $\varepsilon = 0,98$  é a emissividade da superfície;  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{W/m}^2 \cdot \text{K}^4$  a constante de Stefan-Boltzman e  $T_s$  é a temperatura absoluta da superfície, obtida com termômetro ao infravermelho.

A radiação de ondas longas incidente à superfície ( $R_{li}$ ), foi, então obtida por:

$$R_{li} = R_n - (R_i - R_r) + R_{le} \quad (3)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada fase fenológica estudada (F1, F2, F3 e F4) foram analisadas as variações médias diurnas dos componentes do balanço de radiação sobre a copa da goiabeira. Foram ainda selecionados dia com intensa nebulosidade e dia de céu-claro, representativos de cada fase fenológica. Por fim, analisou-se os valores médios diários para o período em que o saldo de radiação foi positivo, ao longo do ciclo produtivo da goiabeira.

Nas Figuras de 1 a 4 são apresentados os comportamentos do balanço de radiação para dias representativos de intensa nebulosidade (a) e céu-claro (b), de cada fase fenológica. Observa-se na Figura 1a intensa nebulosidade (26/06/2000), resultando em redução na densidade do fluxo de radiação solar incidente ( $R_i$ ), e na radiação solar refletida ( $R_r$ ), que permaneceram, na maior parte do período diurno abaixo de  $400,0 \text{ W/m}^2$  e  $100,0 \text{ W/m}^2$ , respectivamente. Com relação aos componentes do balanço de ondas longas, observa-se que os mesmos quase se anulam ao longo do período diurno, e apresentam-se bem mais regulares que os componentes do balanço de ondas curtas, com valores entre  $400,00 \text{ W/m}^2$  e  $450,00 \text{ W/m}^2$ , à exceção da radiação atmosférica, que por volta de 8h00 (tempo local) apresentou valor em torno de  $300,0 \text{ W/m}^2$ . A Figura 1b é representativa de um dia de céu-claro. Nela, verifica-se que as curvas dos componentes do balanço de radiação são bem características, à exceção do período matutino, onde por volta das 8h00 ocorreram algumas nuvens. A radiação solar incidente atingiu um valor máximo por volta do meio-dia,  $782,4 \text{ W/m}^2$ , o mesmo ocorrendo com a refletida, cujo valor máximo foi  $194,5 \text{ W/m}^2$ . Observa-se uma diferença bem mais pronunciada entre os componentes de radiação ondas longas, quando comparados com o dia com intensa nebulosidade, associado à elevação da temperatura superficial que, por sua vez, é modulada pela radiação solar incidente. Durante a Fase 2 (período de crescimento vegetativo e floração), observou-se comportamento semelhante à Fase 1, como pode ser verificado na Figura 2a, para dia com intensa nebulosidade e na Figura 2b, para dia de céu-claro. Verificou-se nesta fase (F2) um pequeno aumento na radiação solar refletida, atribuído à presença de flores, que são brancas.

Nas Fases 3 (F3) e 4 (F4), verificou-se um aumento na radiação solar incidente. Para dias com intensa nebulosidade os cursos diurnos de  $R_i$  e  $R_r$  apresentaram grande variabilidade. Observa-se, em ambas as figuras, que a radiação solar incidente atingiu picos de  $679,7 \text{ W/m}^2$  e  $869,6 \text{ W/m}^2$ , permanecendo, no entanto, na maior parte do dia, com valores bem abaixo destes (Figuras 3a e 3b). Assim como nas Fases 1 e 2, os fluxos máximos da radiação solar na Fase 3 (Figura 3), ocorreram por volta do meio-dia, com valores máximos de  $917,7 \text{ W/m}^2$  e  $211,0 \text{ W/m}^2$  (Figura 3b), para  $R_i$  e  $R_r$ , respectivamente, enquanto que na Fase 4 (Figura 4b), estes valores foram mais elevados e iguais a  $1059,5 \text{ W/m}^2$  e  $229,4 \text{ W/m}^2$ .

Os componentes da radiação de ondas longas, também para as Fases 3 e 4, apresentaram menor variação que os de ondas curtas, sendo que a radiação emitida pela superfície, ou seja, da copa da goiabeira, apresentou-se sempre superior, em valor absoluto, que a radiação incidente à copa da goiabeira, tanto para dia de céu-claro como para dia com intensa nebulosidade. Observou-se, ainda, que o máximo da radiação de ondas longas ocorreu sempre por volta das 15h00, ou seja, após o máximo da radiação solar incidente, indicando ser esta a principal determinante da variação na magnitude dos demais componentes do balanço de radiação sobre a copa da planta, bem como da temperatura do dossel vegetativo. A radiação de ondas longas emitida pela copa da planta ( $R_{le}$ ), nas Fases 3 e 4, atingiram picos de  $500,0 \text{ W/m}^2$ , em dias de céu-claro e valores um pouco menores para dias com intensa nebulosidade. Com relação a radiação de ondas longas da atmosfera ( $R_{li}$ ), observa-se valores menores que  $R_{li}$ , sempre na faixa entre  $300,0 \text{ W/m}^2$  e  $400,0 \text{ W/m}^2$ , com os valores mínimos ocorrendo até o meio-dia.

Para uma melhor caracterização do comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação, foram calculadas médias diurnas para cada fase estudada. Verificou-se a radiação incidente ( $R_i$ ) apresentou comportamento basicamente semelhante nas quatro fases estudadas, com valores máximos próximos ao meio-dia, de  $654,7 \text{ W/m}^2$ ,  $653,2 \text{ W/m}^2$ ,  $752,3 \text{ W/m}^2$  e  $999,0 \text{ W/m}^2$  para as Fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente (Tabela 1). Observou-se, ainda, que a radiação solar refletida pela copa da planta apresentou valores máximos também em torno do meio-dia, atingindo  $156,25 \text{ W/m}^2$ ,  $161,86 \text{ W/m}^2$ ,  $183,56 \text{ W/m}^2$  e  $205,0 \text{ W/m}^2$ , para as Fases de 1 a 4, respectivamente (Tabela 1). O aumento progressivo na  $R_r$  pode ser atribuído ao aumento de  $R_i$ .

Em todas as fases fenológicas, os componentes do balanço de radiação de ondas longas, apresentaram comportamento diurno semelhante e tanto a radiação de ondas longas emitida pela copa ( $R_{le}$ ) como pela atmosfera ( $R_{li}$ ), atingiram valores máximos após o máximo da  $R_i$  e das temperaturas do dossel e do ar, indicando uma dependência, tanto do balanço de ondas curtas como das temperaturas do dossel e do ar.

O comportamento diurno do saldo de radiação ( $R_n$ ) foi semelhante ao da radiação solar incidente ( $R_i$ ) para todos os dias e fases fenológicas analisadas, diferindo apenas em magnitude. Como se pode observar na Tabela 1, o saldo de radiação aumentou de  $438,1 \text{ W/m}^2$  na Fase 1 para  $644,5 \text{ W/m}^2$  na Fase 4. Durante as fases F1, F2, F3 e F4 o valor do saldo de radiação máximo correspondeu a 66,9%, 67,4%, 68,0% e 64,5% da radiação solar incidente máxima. Comportamentos semelhantes dos componentes do balanço de radiação foram observados por Moura (1998) e Leitão *et al.* (2000) para superfície de solo descoberto e por André *et al.* (1988) sobre floresta.

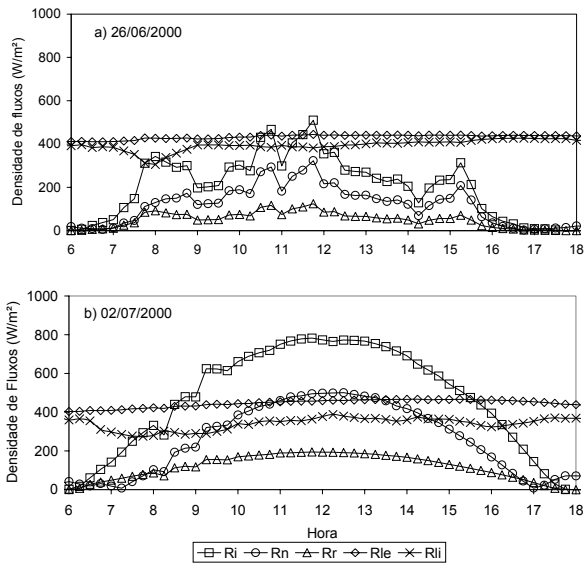


Figura 1. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a copa da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 1: (a) com intensa nebulosidade e (b) céu-claro

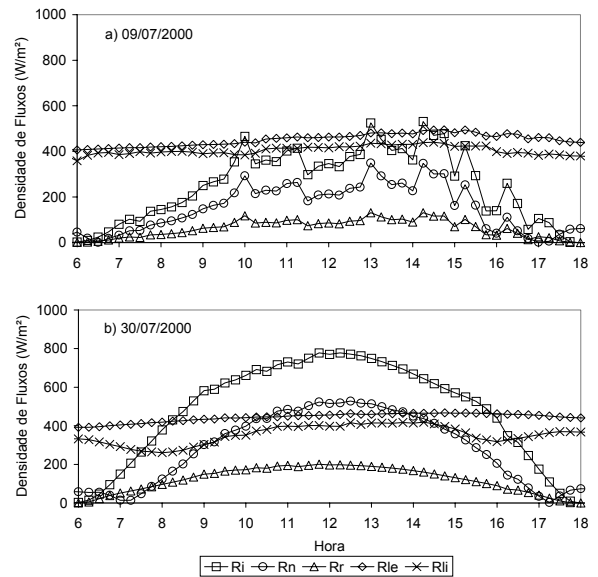


Figura 2. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a copada goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 2: (a) com intensa nebulosidade e (b) céu-claro

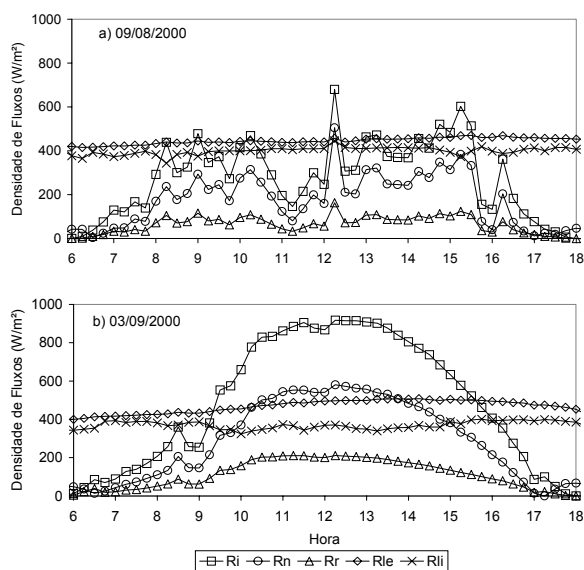


Figura 3. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a copa da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 3: (a) com intensa nebulosidade e (b) céu-claro

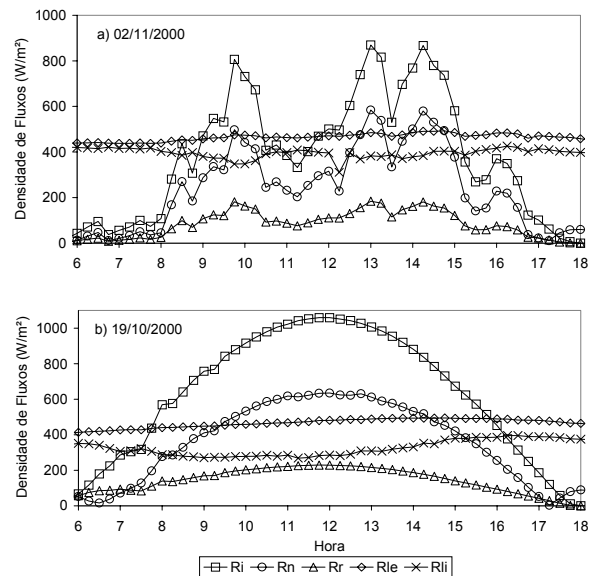


Figura 4. Comportamento diurno dos componentes do balanço de radiação sobre a copa da goiabeira (*Psidium guajava* L.), em Petrolina – PE, para dias representativos da Fase 4: (a) com intensa nebulosidade e (b) céu-claro

Tabela 1. Valores médios máximos dos componentes do balanço de radiação, sobre o pomar de goiabeiras (*Psidium guajava* L.), cultivar ‘Paluma’, para as Fases 1, 2, 3 e 4, em Petrolina – PE

Componentes do balanço de radiação ( $W/m^2$ )	Fase 1	Fase 2	Fase 3	Fase 4
Radiação solar incidente – $R_i$	654,7	653,2	752,3	999,0
Radiação solar refletida – $R_r$	156,2	161,8	183,5	205,0
Radiação emitida pela copa da planta – $R_{le}$	485,3	462,8	475,7	494,2
Radiação incidente à copa – $R_{li}$	427,2	414,3	416,3	420,7
Saldo de radiação – $R_n$	438,1	440,3	511,8	644,4

Na Figura 5 é apresentado o comportamento médio dos componentes do balanço de radiação, para o período de saldo de radiação positivo, ao longo das quatro fases estudadas. Verifica-se que há uma tendência de aumento da radiação solar incidente, e conseqüentemente, dos outros componentes do balanço de radiação, da Fase 1 (F1) à Fase 4 (F4). Observa-se, ainda, que durante todo o período de estudo, ocorreram dias com acentuada nebulosidade, o que contribuiu para grande redução nos valores médios dos componentes do balanço de radiação, principalmente na radiação solar incidente, cuja curva foi a que apresentou maior variabilidade ao longo do ciclo fenológico analisado.

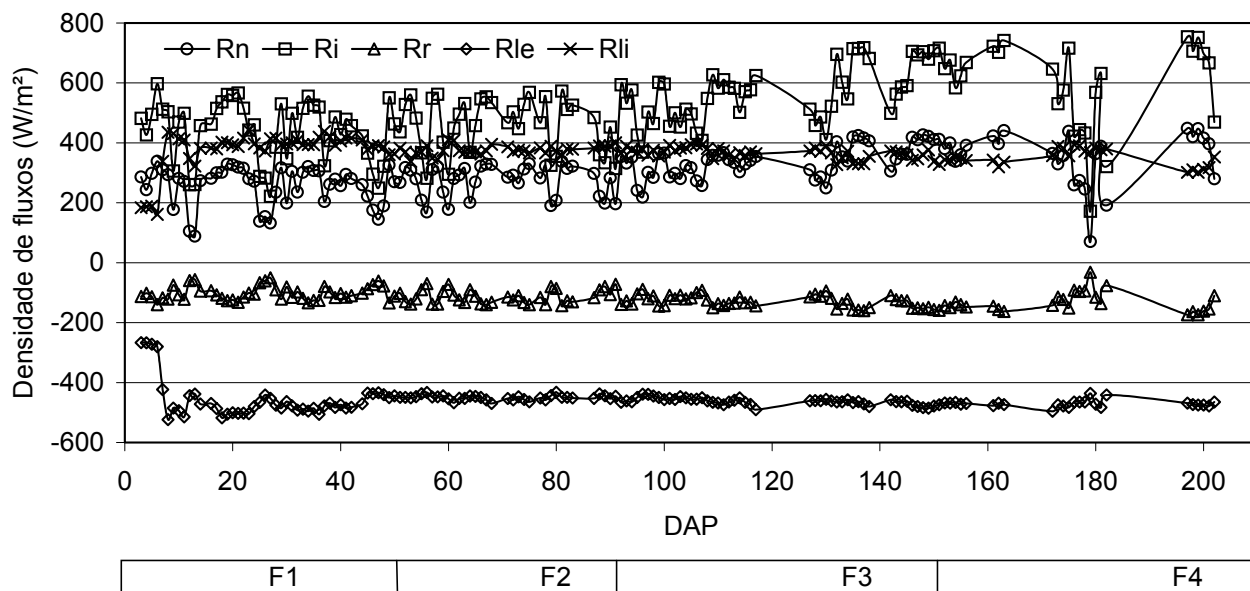


Figura 5. Comportamento dos componentes médios do balanço de radiação para o período com saldo de radiação positivo, sobre o pomar de goiabeiras (*Psidium guajava* L.), cultivar 'Paluma', em Petrolina – PE, durante as quatro fases do ciclo fenológico

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos a partir de experimento de campo realizado no pomar de goiabeira, cultivar 'Paluma', com 2,5 anos de idade, no Projeto de Irrigação Senador Nilo Coelho, em Petrolina – PE, concluiu-se que:

- os componentes do balanço de radiação apresentaram ligeiro aumento da Fase 1 (brotação, crescimento vegetativo e maturação) à Fase 4 (maturação e colheita de frutos);
- o saldo de radiação representou pouco mais de 67% da radiação solar global nas fases 1 e 2, 68% na fase 3 e 64% na fase 4; enquanto que a radiação refletida atingiu valores em torno de 24% para as fases 1, 2 e 3, e 20% para a fase 4.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVES, A. V. & AZEVEDO, P. V. Balanço de radiação num cultivo de melão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...*, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p 520.
- ANDRÉ, R. G. B.; SILVA FILHO, V. P.; MOLION, L. C. B.; *et al.* Balanço de radiação sobre a Floresta Amazônica (estações seca e úmida). *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 3, n. 2, p. 269-274, 1988.
- CODEVASF. Codevasf – Fonte de progresso em Pernambuco.  
<http://www.codevasf.gov.br/port/codevasf/dadosda3.html>. 2000

- GONZAGA NETO, L. **Cultura da goiabeira**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA, 1990. 26p. (EMBRAPA-CPATSA, Circular Técnica, 23).
- LEITÃO, M. M. V. B. R.; MOURA, M. S. B.; SALDANHA, T. R. F. C.; *et al.* Balanço de radiação sobre um solo descoberto para quatro períodos do ano. **Revista de Ciência e Tecnologia**, Piracicaba, v. 15, p. 57 – 63, 2000.
- MOURA, M. S. B. Balanço de radiação em um solo descoberto, para duas épocas diferentes, em Mossoró-RN. Mossoró: ESAM, 1998. 72p. (**Monografia**).
- SANTOS, J. M.; FRANCISCO, V. P. S.; FISH, G.; *et al.* Radiação de onda longa utilizando observações de superfície na região de Tucuruí – PA. In: BOLETIM TÉCNICO, 4, Campinas, 1984. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1984, 53 p.
- TEIXEIRA, A. H. C.; LIMA FILHO, J. M. P.; SOARES, J. M. Saldo de radiação e índice de área foliar na cultura da videira, conduzida em um sistema de latada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 10, 1997, Piracicaba. *Anais...*, Piracicaba: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1997, p. 523.