

## BALANÇO DE RADIAÇÃO SOBRE UMA CULTURA DE MILHETO FORRAGEIRO\*

### RADIATION BALANCE OVER A PEARL MILLET CROP

Sandro Luis Petter Medeiros\*\*  
Homero Bergamaschi\*\*\*\*

Marcos Luis Verdi dos Santos\*\*\*  
Moacir Antonio Berlato\*\*\*\*

#### RESUMO

Em uma cultura de milheto forrageiro (*Pennisetum americanum*, Leek) cv. pérola, em Eldorado do Sul, RS a 30°05'27"S de latitude, 51°40'18"W de longitude e 40m de altitude, foram quantificados os componentes do balanço de radiação, no ano agrícola de 1988/89. A perda diária de energia por reflexão de ondas curtas foi superior à perda líquida de radiação de ondas longas, porém com valores semelhantes no início da manhã e ao final da tarde. O albedo demonstrou dependência do ângulo zenital da radiação solar, sendo menor próximo ao meio-dia e máximo no início da manhã. O albedo médio diário variou de 0,22 a 0,28, sem relação consistente com o índice de área foliar e com a nebulosidade.

**Palavra-chave:** balanço de radiação, albedo, milheto.

#### SUMMARY

Radiation balance components were determined in a pearl millet (*Pennisetum americanum*, Leek) crop, in Eldorado do Sul, RS, at 30°05'27"S, 51°40'18"W and 40m of the altitude, during 1988/89 growing season. Daily energy losses by shortwave reflection were higher than the long wave radiation losses, with similar values around sunrise and sunset. The albedo shown dependence to the zenital angle of solar radiation, being lowest around the noon and highest early in the morning. Daily average albedo varied from 0,22 to 0,28, without consistent relation with leaf area index.

**Key words:** radiation balance, albedo, millet.

#### INTRODUÇÃO

As culturas, desde a emergência até a colheita, estão expostas a fluxos de radiação. As propriedades óticas das superfícies cultivadas são parâmetros importantes no estudo do crescimento das plantas (KANEMASU & ARKIN, 1974).

A descrição completa do balanço de radiação no sistema solo-planta-atmosfera requer medições no tempo, no espaço e na distribuição e direção dos fluxos de radiação (YOCUM et al, 1964). O balanço de radiação na superfície da terra é composta de fluxos de radiação solar de ondas curtas (com comprimentos de onda de 0,3 à 3,0µm) e de ondas longas (com comprimento superior à 3,0µm) (TANNER & LEMON, 1962).

A reflexão das folhas tem maior importância na determinação do balanço de radiação do dossel. A fração da radiação solar que atinge uma superfície, quando refletida, é denominada de albedo (KANEMASU & ARKIN, 1974). O albedo da superfície de uma cultura depende da sua coloração (CHANG, 1969), condições hídricas da cultura e do solo (CHANG, 1969; BLAD & BAKER, 1972; GRASSER & VAN BAVEL, 1982 e JONES, 1983), arranjo foliar (CHANG, 1968) e cobertura de nuvens (BLAD & BAKER, 1972).

KANEMASU & ARKIN (1974) citam que valores de albedo são necessários, entre outras aplicações, para o estudo do balanço de energia.

Este trabalho tem por objetivo quantificar os componentes do balanço de radiação em uma cultura de milheto forrageiro.

\* Parte da dissertação apresentada pelo primeiro autor como um dos requisitos ao grau de mestre em Fitotecnia (Agrometeorologia) pela Faculdade de Agronomia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS). 90001-970 - Porto Alegre, RS em 1990.

\*\* Engenheiro Agrônomo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Fac. de Agronomia da UFRGS, Professor Assistente do Departamento de Fitotecnia, Centro de Ciências Rurais (CCR), da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). 97119-900 - Santa Maria, RS. Bolsista do CNPq.

\*\*\* Engenheiro Agrônomo do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Fac. de Agronomia da UFRGS, Bolsista da Capes.

\*\*\*\* Engenheiro Agrônomo, Doutor, Professor Adjunto, Faculdade de Agronomia da UFRGS, Bolsista do CNPq.

## MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido na Estação Experimental Agronômica da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (EEA/UFRGS), localizada no município de Eldorado do Sul, RS, região da depressão central e com coordenadas de 30°05'27''S e 50°40'18''W e 40m de altitude. O clima pertence ao tipo fundamental Cfa, conforme a classificação climática de Koeppen.

O solo pertence à unidade de mapeamento Arroio dos Ratos, classificada como laterita hidromórfica (MELLO et al, 1966) e mais recentemente classificada como plintossolo.<sup>a</sup>

O experimento constou de uma parcela cultivada com milho forrageiro, com dimensões de aproximadamente 80m x 60m, sendo o eixo maior na orientação leste-oeste.

O solo foi corrigido e adubado conforme a recomendação da Rede Oficial de Laboratório de Análise de Solos do Rio Grande do Sul (SIQUEIRA et al, 1987).

A semeadura foi realizada com semeadeira de cereais, em 20/10/1988, utilizando-se cerca de 10kg de sementes por hectare. O espaçamento entre fileiras foi de 0,38m, com aproximadamente 90 sementes por metro linear com uma população final próxima de 70 plantas por metro linear.

No dia 13/12/1988 foi realizado o primeiro corte na cultura, sendo o segundo e último corte realizado em 04/04/1989.

Foram realizadas três irrigações por aspersão com o objetivo de reduzir o déficit hídrico e os danos decorrentes do mesmo. As leituras das variáveis micro-meteorológicas foram realizadas em intervalos de aproximadamente 30 minutos, durante o período das 6h30min às 18h30min, de dias representativos de estádios de desenvolvimento da cultura. Os instrumentos foram instalados próximos ao centro da área experimental.

Todos os sensores de sinal elétrico, durante o período diurno foram acoplados a um sistema de medição, composto por uma chave comutadora e de um micro-voltímetro marca ECB, com resolução de um 1  $\mu$ m.

O saldo de radiação (Rn) foi obtido através de um saldo-radiômetro, marca Phillip-Schenk, de constante de 6,138mV por cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>, instalado a uma altura fixa de 4m acima do solo.

Para a radiação solar global (Rs), foi empregado um piranômetro marca Eppley, modelo preto-e-branco, com constante de 7,61mV por cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>, sendo instalado a 1,50m acima do solo.

A radiação solar refletida (Rr) foi medida através de um albedômetro, marca Middleton de constante 9,46mV por cal.cm<sup>-2</sup>.min<sup>-1</sup>, instalado a uma altura fixa de 3,90m acima do solo.

O albedo ( $\alpha$ ) foi calculado pela relação:

$$\alpha = \frac{Rr}{Rs} \quad (1)$$

onde:  $\alpha$  é albedo, (Rn) é a radiação solar refletida e Rs é a radiação solar global.

O balanço de ondas curtas (Boc) foi obtido pela equação:

$$Boc = (1 - \alpha) \cdot Rs \quad (2)$$

O balanço de ondas longas (l) foi obtido pela diferença entre o saldo de radiação (Rn) e o balanço de ondas curtas (Boc), segundo a equação:

$$l = Rn - Boc \quad (3)$$

O índice de área foliar foi determinado a partir de três amostras de plantas coletadas em 0,53m de linha, correspondendo a uma área de 0,2m<sup>2</sup>. Das folhas de cada amostra foram retiradas três sub-amostras para a determinação da área foliar específica (área foliar/peso de matéria seca). Cada sub-amostra constou de 8 à 10 retângulos com 2 x 3cm, retirados de diferentes porções das folhas, localizadas em posições variáveis das plantas. Assim, sendo conhecida a área foliar específica, e o peso da matéria seca das folhas das amostras, por uma regra de três direta calculou-se a área foliar das amostras e o índice de área foliar.

A nebulosidade foi observada na escala décimos de céu encoberto, através da observação visual.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Radiação solar global (Rs)

Nas figuras 1 à 6 são apresentadas os balanços de radiação e os albedos nos diferentes dias de observação, compreendendo o período de 25/11/88 a 07/03/89, nos horários das 6h30min às 18h30min.

Na Tabela 1, são apresentados os totais dos componentes do balanço de radiação solar para os diferentes dias de observação. O total da radiação solar global ficou compreendida entre os valores de 11,568MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (07/03/91) e 28,306MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (16/12/88). O dia 16/12/88 apresentou nebulosidade média de 0,5 e do dia 07/03/91 foi um dia nublado, com nebulosidade média de 9,4.

### Radiação solar refletida (Rr)

A radiação solar refletida ficou compreendida entre os valores totais de -2,533MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (07/03/89) e -7,553MJ.m<sup>2</sup>.dia<sup>-1</sup> (02/12/89), sendo principal componente

de perda da radiação solar (Tabela 1). Neste último dia, ocorreu uma associação entre os picos de radiação solar global com as maiores perdas de radiação solar refletida. No dia 07/03/89, a menor perda de radiação solar por reflexão esteve associada à diminuição na magnitude da radiação solar global, cujo total atingiu valor mínimo neste dia (Tabela 1).

#### Balanço de radiação de ondas curtas

Pela Tabela 1, observa-se que o balanço de ondas curtas apresentou variação de  $9,035\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (07/03/88) à  $21,626\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (16/12/88), o que demonstrando sua maior relação com a variação da densidade de fluxo de radiação solar global, já que o albedo médio nestes dois dias variou pouco, cerca de 6%.

#### Balanço de radiação de ondas longas

Os totais diurnos de densidade de fluxo do balanço de ondas longas estiveram compreendidos entre  $-1,891\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (07/03/89) e  $+0,541\text{MJ.m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$  (25/11/88). Assim, os maiores valores de radiação solar global, não apresentaram, necessariamente, maiores perdas de radiação de ondas longas, como se constata na Tabela 1.

Na Tabela 1, observa-se que a perda de radiação de ondas longas foi maior em dias claros (16/12/88) do que em dias parcialmente nublados (02/12/88; 17/02/89 e 07/03/89), devido a ação da nebulosidade no aumento da contra-irradiação, diminuindo as perdas de radiação da superfície. Também este fato, verifica-se em maior intensidade no dia 28/12/88, dia nublado, no qual ocorreu valor positivo no balanço de ondas longas, significando que a contra-irradiação superou a radiação de ondas longas emitidas pela superfície da cultura.

Nas Figuras 1a à 6a, observa-se a interferência da nebulosidade no curso diário do balanço de ondas longas. Em dias parcialmente nublados (02/12/88, 28/12/88 e 17/12/88), o balanço de ondas longas oscilou entre valores positivos e negativos, enquanto que em dias claros (25/11/88 e 16/12/88), os valores foram negativos durante a maior parte do período de observação.

#### Albedo

Na Tabela 1, são apresentados os valores médios diários do albedo. Nas Figuras 1b a 6b, estão apresentadas as variações do albedo nos diferentes dias de observação.

Nos dias 02/12/88, 16/12/88, 17/02/89 e 07/03/89 (Figuras 2b, 3b, 5b e 6b, respectivamente), o albedo no início da manhã foi superior ao do final da tarde. Estes resultados também foram verificados por CUNHA (1987), FONTANA et al (1989) e LEITÃO et al (1989).

Os valores albedos no início da manhã e ao final da tarde foram, geralmente, superiores aos verificados nos demais horários do dia. Segundo BLAD &

BAKER (1972) e NKEMDIRIM (1973), entre outros efeitos, este comportamento mostra a dependência do albedo, em relação ao ângulo zenital do Sol. No dia 17/02/89 (Figura 5b), os valores de albedo no início da manhã apresentam rápido decréscimo, passando de 0,46 às 7h30min para 0,23 às 9h4min. De acordo BLAD & BAKER (1972), em muitas culturas, o albedo decresce abruptamente com os aumentos na elevação solar acima de  $30^\circ$ . Os menores valores de albedo, geralmente, ocorrem ao redor das 12h. Segundo FONTANA (1988), este efeito pode ser atribuído ao menor valor do ângulo zenital da radiação solar incidente.

Não houve uma associação entre a nebulosidade e a variação do albedo, pois um dia quase sem nebulosidade (16/12/88) teve valor de albedo equivalente a dias nublados (28/12/88 e 17/02/89), com valores próximos a 0,24 (Tabela 1). Já BLAD & BAKER (1972) verificaram um albedo médio diário de 0,26, para os dias claros e de 0,24 para os dias nublados, na cultura da soja.

Pelos resultados obtidos, não ficou evidente uma relação entre o índice de área foliar (IAF) do milho e o albedo médio diário, pois os valores mínimos e máximos de albedo não coincidiram com os valores mínimos e máximos de índice de área foliar (Tabela 1). Porém, CUNHA (1988) verificou uma tendência de associação entre a elevação do albedo médio diário e o desenvolvimento da cultura do milho.

Na Tabela 1, verifica-se que albedo médio diário variou entre 0,22 e 0,28, sendo próxima a variação encontrada por CUNHA (1988) na cultura do milho, a qual ficou entre 0,19 e 0,24.

Para a cultura da soja, com cobertura completa do solo, FONTANA (1988) encontrou um albedo médio diário de 0,26. SANSIGOLO et al (1985) encontraram um albedo médio de 0,19 para a grama, em dois dias de observação. FONTANA et al (1989), para a cultura do girassol, verificaram um albedo médio diário de 0,24.

#### CONCLUSÕES

1. A perda diária de energia por reflexão de ondas curtas foi superior à perda líquida de radiação de ondas longas;
2. No início da manhã e ao final da tarde, os valores instantâneos de radiação solar refletida apresentaram uma tendência de aproximarem-se aos valores do balanço de ondas longas;
3. O albedo no início da manhã foi superior ao do final da tarde, sendo que os menores valores ocorreram em torno do meio-dia, demonstrando a sua dependência ao ângulo zenital;
4. O albedo médio diário não apresentou relação consistente com o índice de área foliar ou com o grau de nebulosidade.
5. A nebulosidade interfere no balanço de ondas longas, aumentando a contra-irradiação.

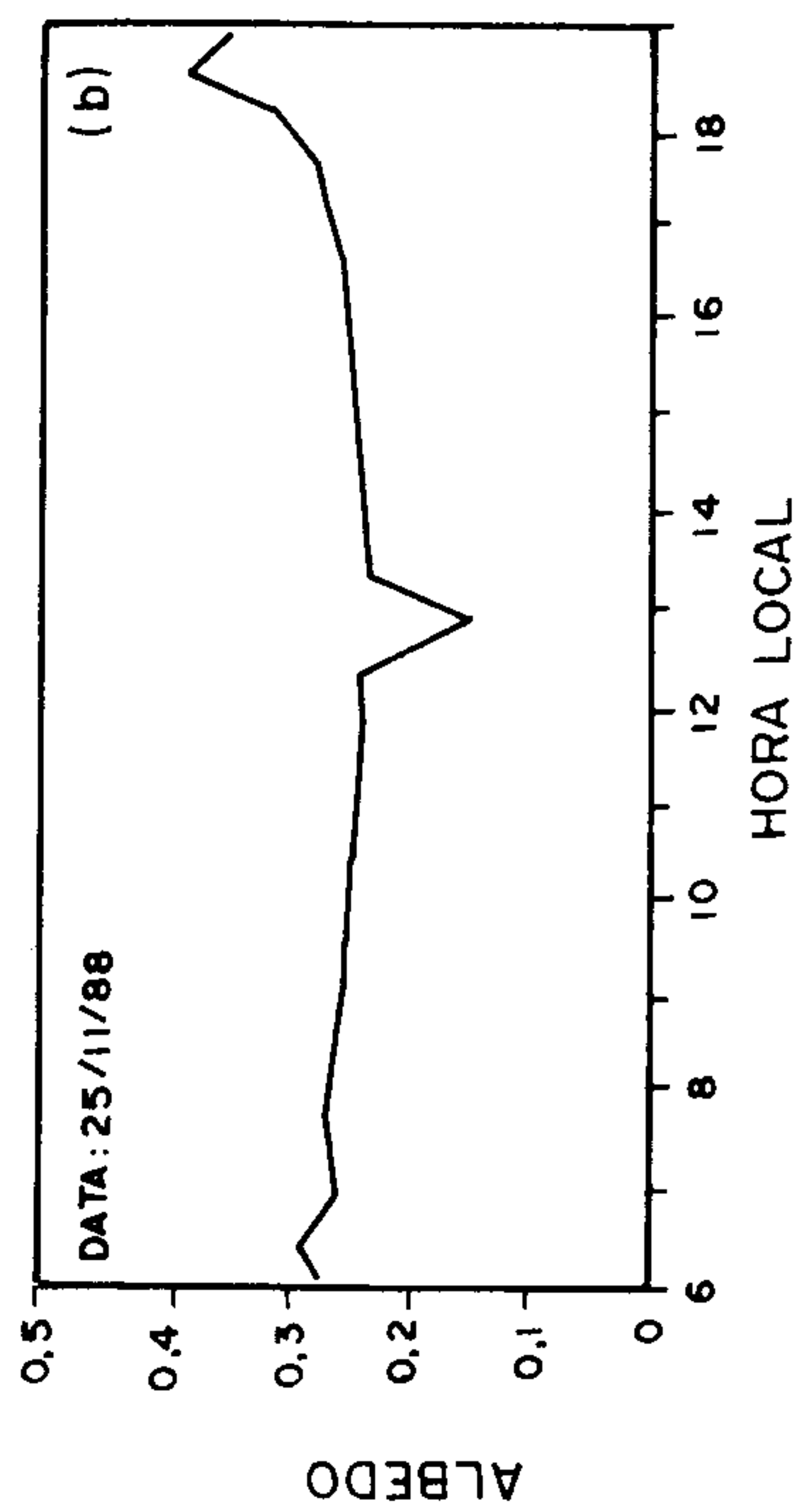
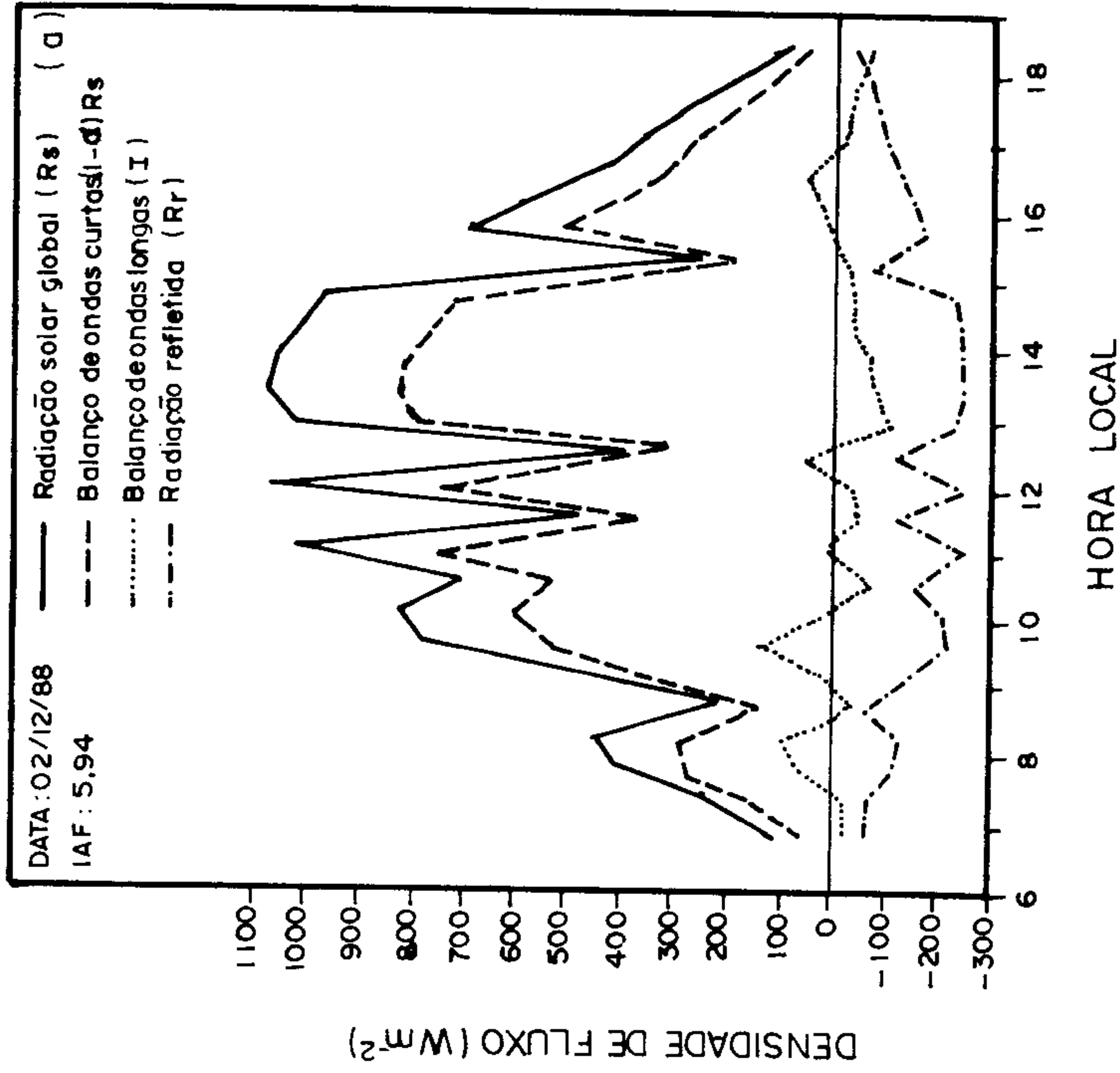


FIGURA 1 - Variação dos componentes do balanço de radiação (a) e do albedo (b), em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola em 25/11/88. Eldorado do Sul.

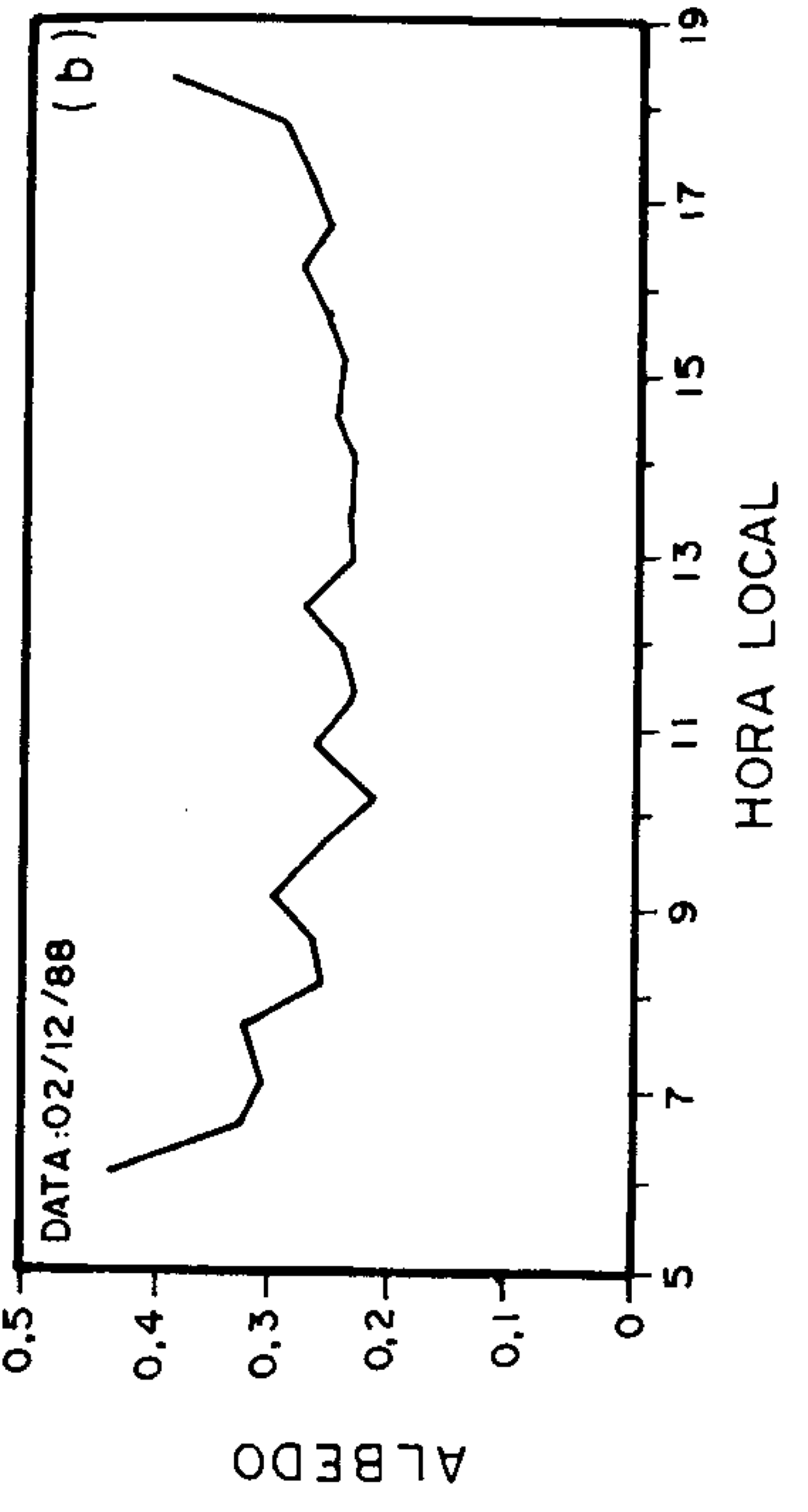
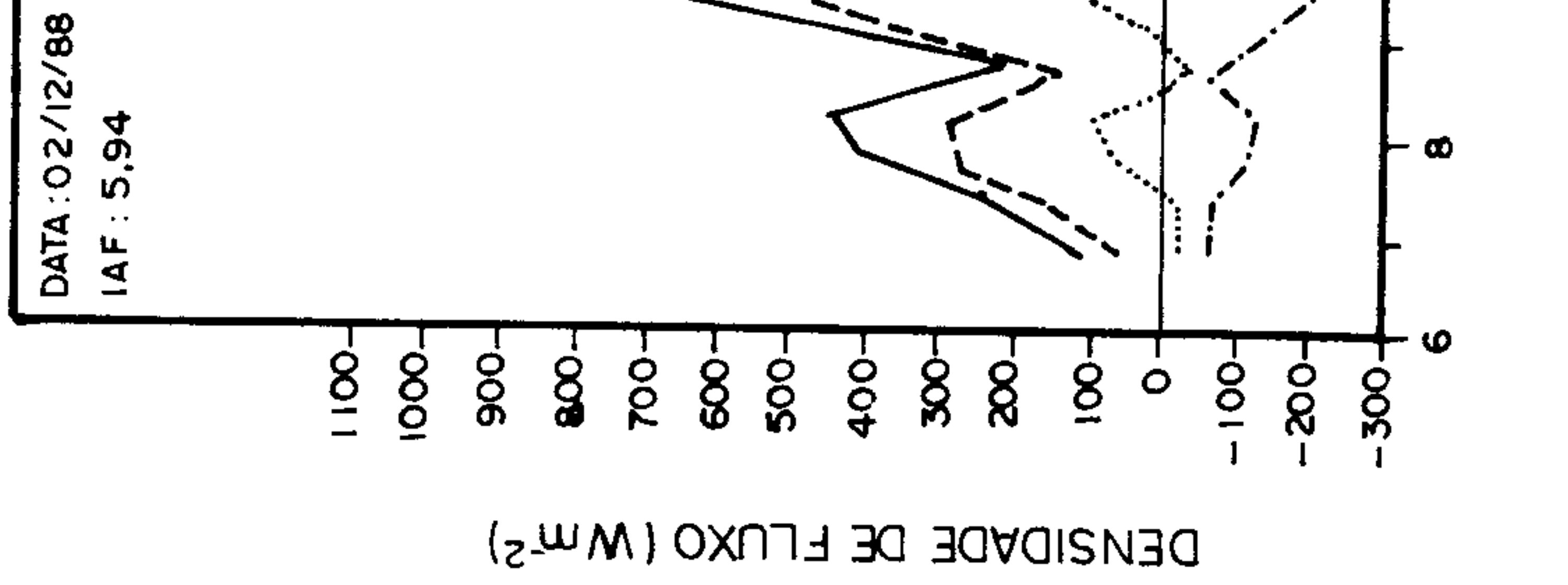


FIGURA 2 - Variação dos componentes do balanço de radiação (a) e do albedo (b), em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola em 02/12/88. Eldorado do Sul.

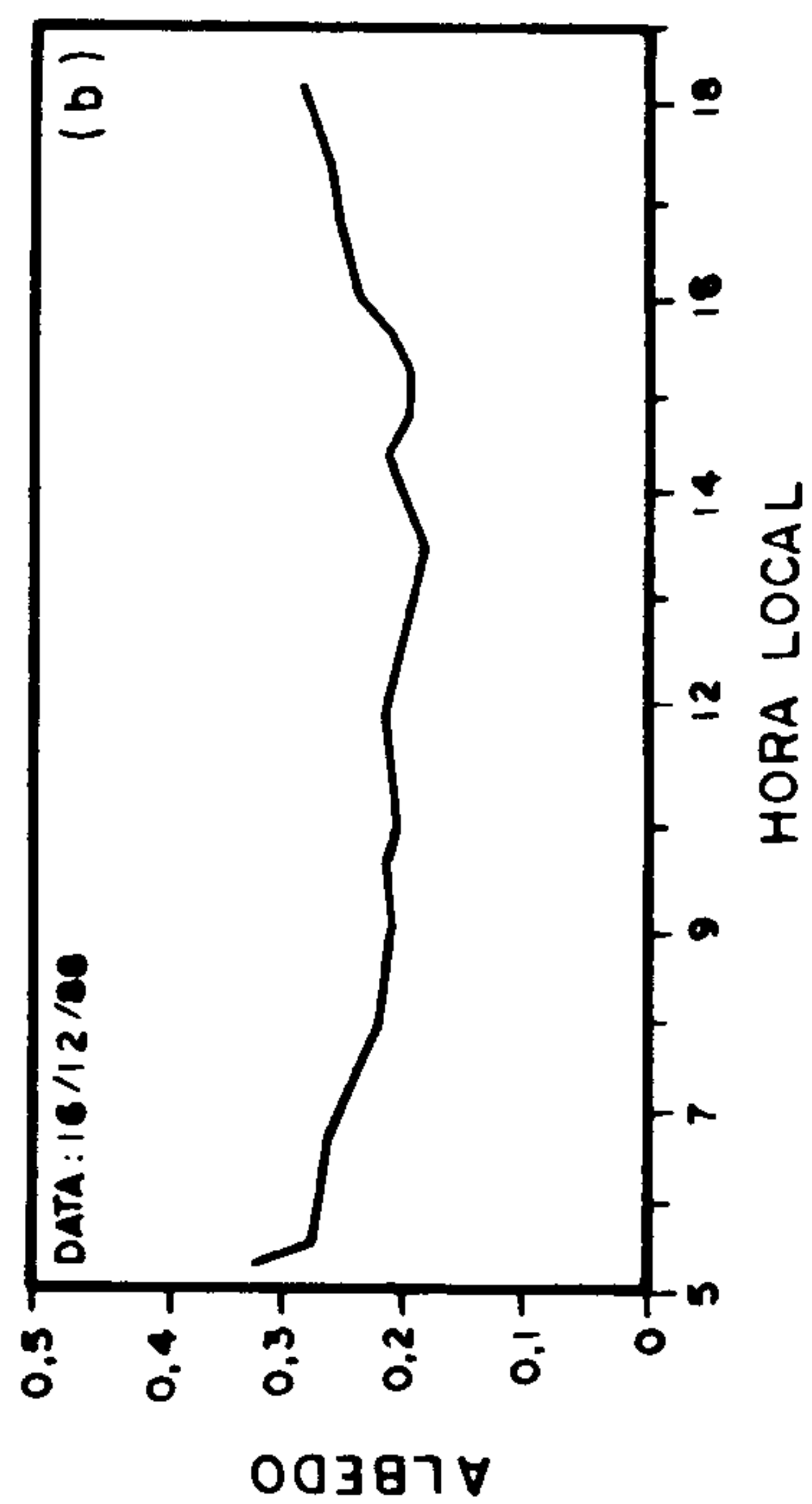
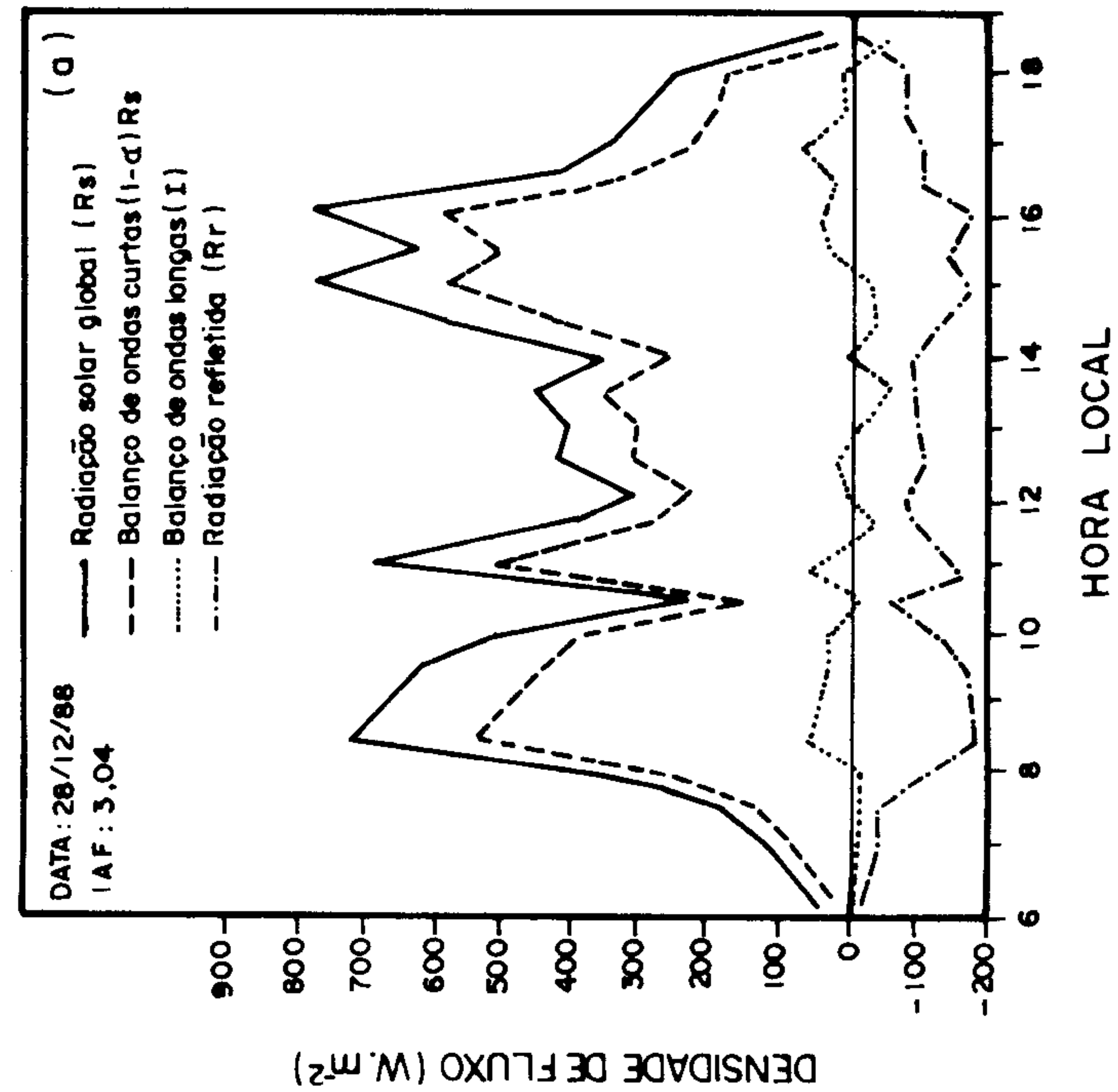


FIGURA 3 - Variação dos componentes do balanço de radiação (a) e do albedo (b), em uma cultura de milheto forrageiro, cv. pérola em 16/12/88. Eldorado do Sul.

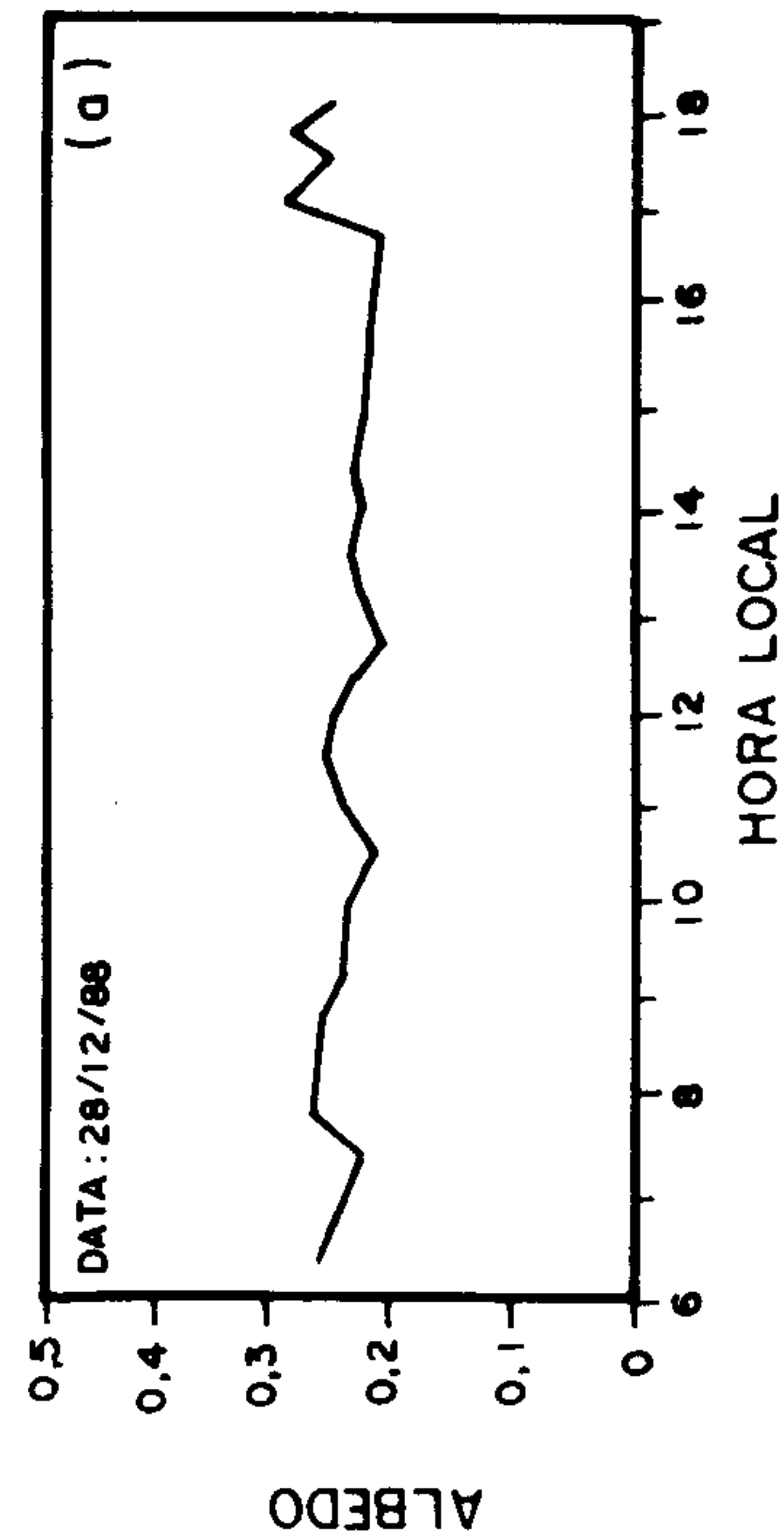


FIGURA 4 - Variação dos componentes do balanço de radiação (a) e do albedo (b), em uma cultura de milheto forrageiro, cv. pérola em 28/12/88. Eldorado do Sul.

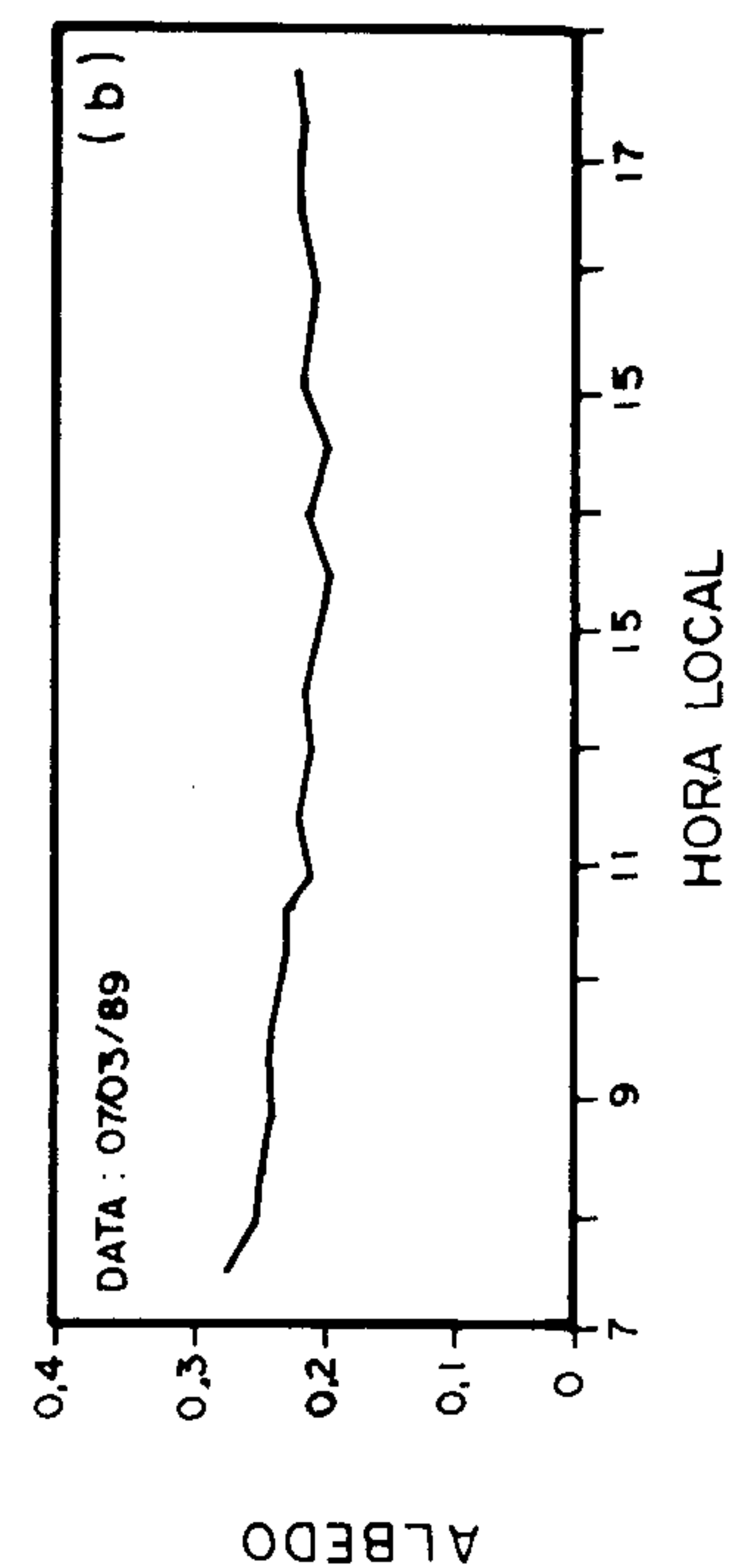
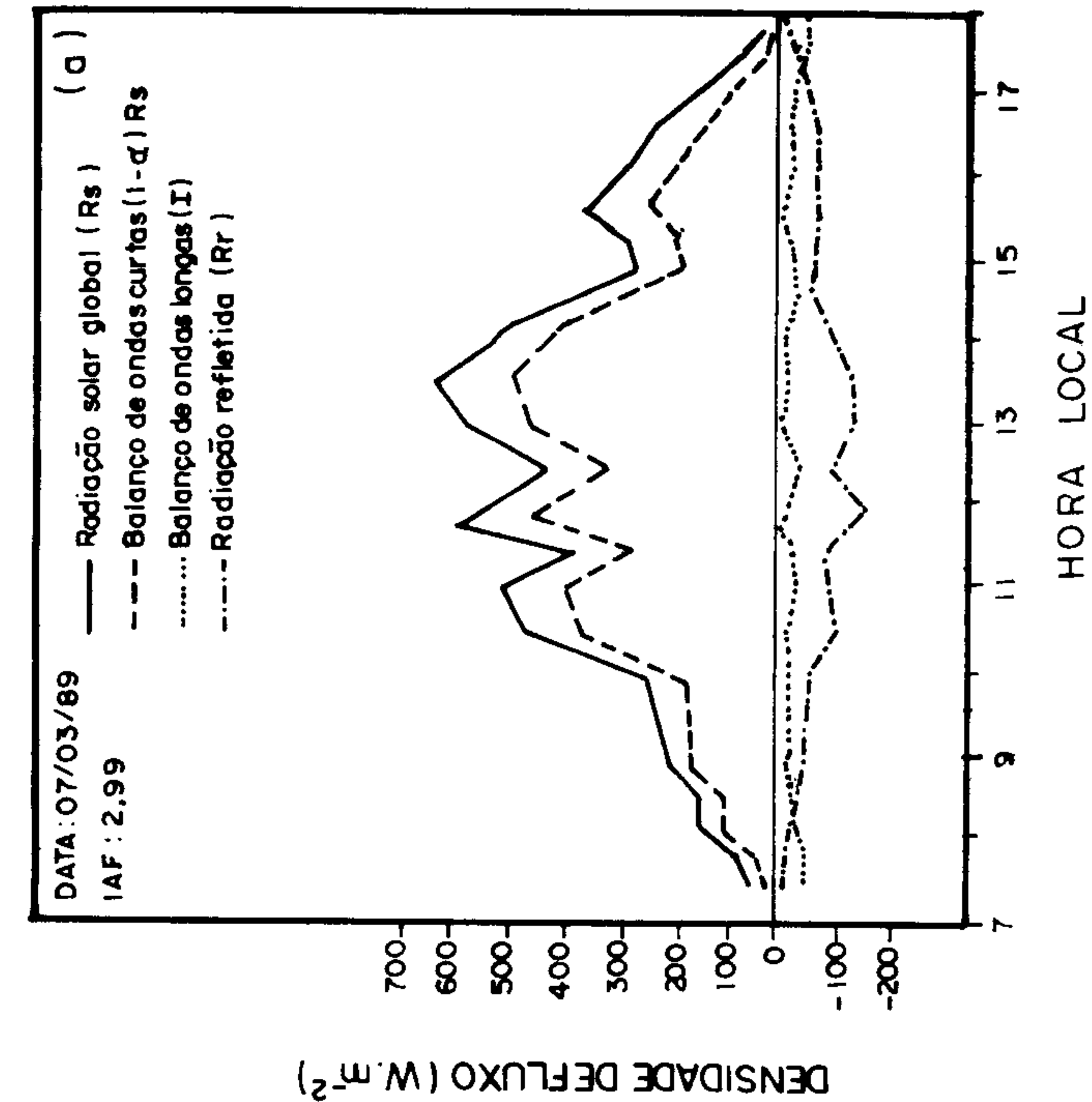


FIGURA 6 - Variação dos componentes do balanço de radiação (a) e do albedo (b), em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola em 07/03/89. Eldorado do Sul.

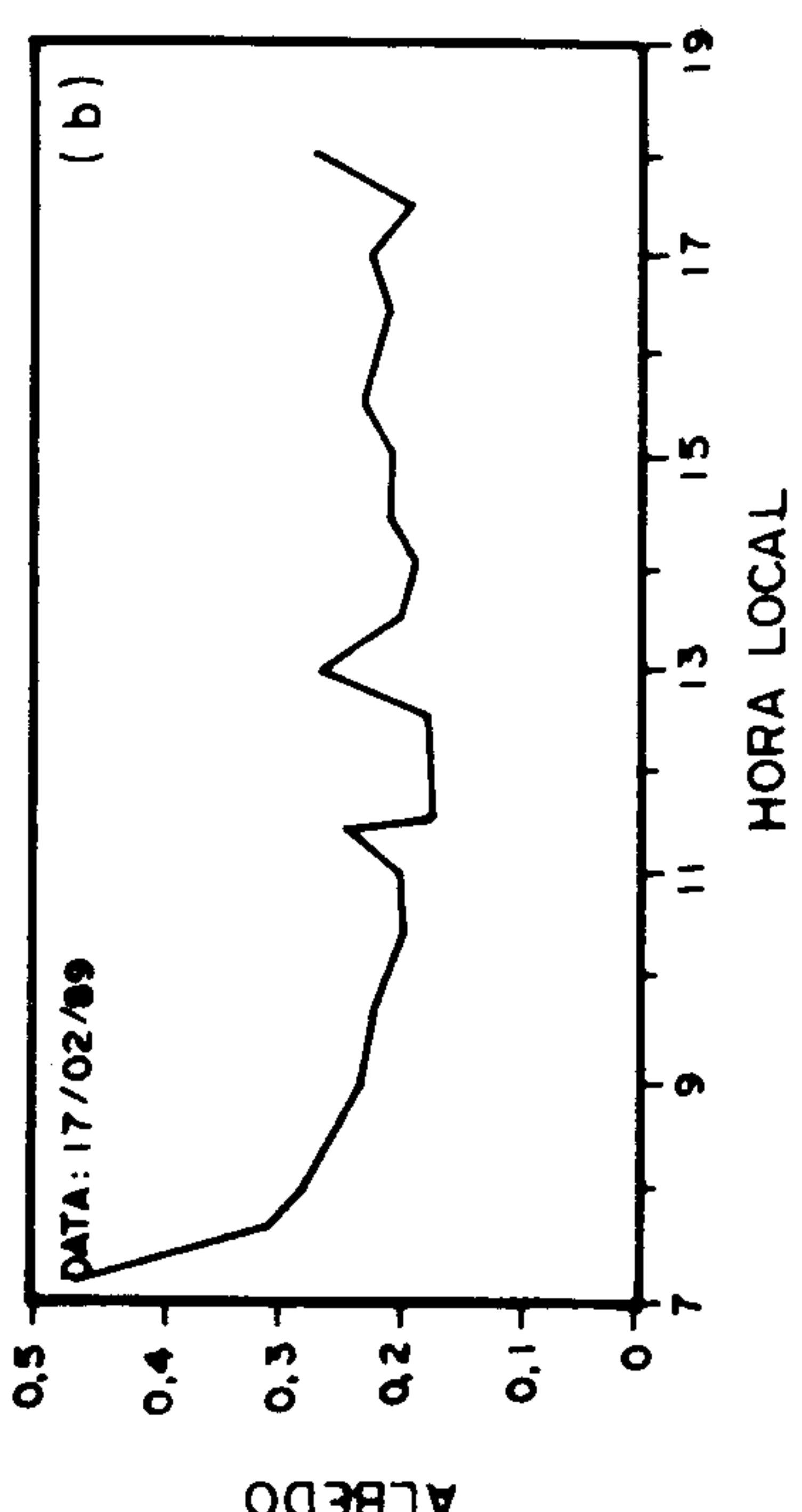
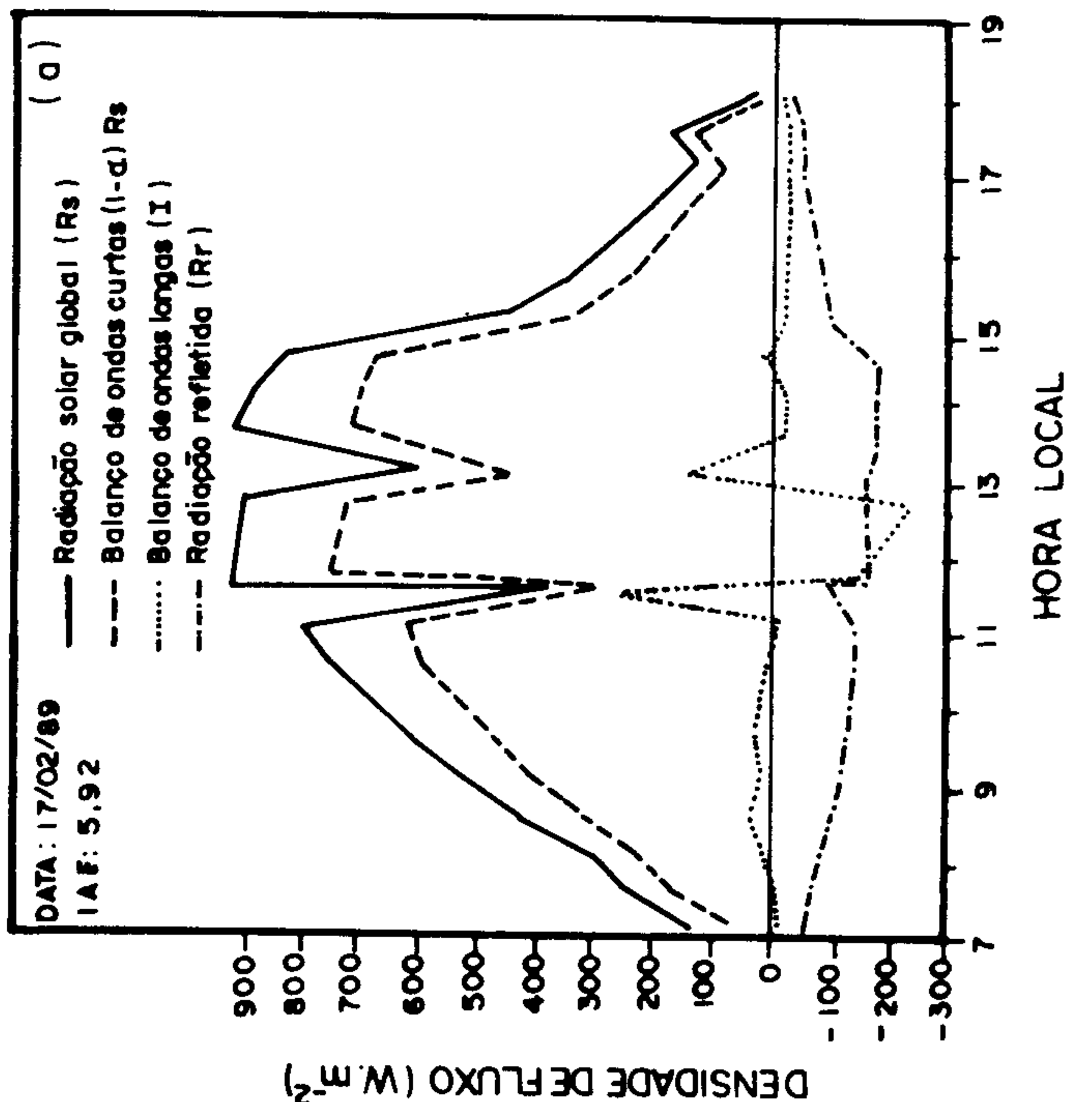


FIGURA 5 - Variação dos componentes do balanço de radiação (a) e do albedo (b), em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola em 17/02/89. Eldorado do Sul.

## INFORME PESSOAL

a - Departamento de Solos/Universidade Federal do Rio Grande do Sul.  
90001-970 - Porto Alegre, RS.

TABELA 1 - Componentes do balanço de radiação, índice de área foliar e nebulosidade em uma cultura de milho forrageiro, cv. pérola. Eldorado do Sul-RS, 1988/89.

DATA	IAF	$\bar{\alpha}$	Nebulosidade- (0 a 10)	MJ.m <sup>2</sup> .dia <sup>-1</sup>					
				Rn	Rn 24h	Rs	(1- $\alpha$ )Rs	I	Rr
25/11/88	3,81	0,275		18,760	15,647	26,291	19,718	-0,958	-6,573
02/12/88	5,94	0,275	6,8	19,727	17,587	27,466	20,326	-0,599	-7,140
16/12/88	1,32	0,236	0,5	19,735	17,436	28,306	20,380	-0,645	-7,296
28/12/88	3,04	0,237	7,4	15,537	14,294	19,720	10,448	-0,897	-9,272
17/02/89	5,92	0,235	4,6	16,082	14,292	21,460	16,910	-0,828	-4,550
07/03/89	2,99	0,219	9,4	8,618	6,501	11,568	9,111	-0,493	-2,457

IAF - Índice de área foliar;  $\bar{\alpha}$  - albedo médio; Rn 24h - saldo de radiação diurno; Rn 24h-saldo de radiação das 24h; Rs- radiação solar global; (1- $\alpha$ )Rs-balanço de ondas curtas; I-balanço de ondas longas e Rr-radiação de ondas curtas refletidas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BLAD, L.B., BAKER, D.G. Reflected radiation from a soybean crop. *Agronomy Journal*, Madison, v. 64, p. 277-280, 1972.
- CHANG, J.H. *Climate and Agriculture: an Ecological Survey*. Chicago: Aldine, 1968. 304 p.
- CUNHA, G.R. *Estudo Micrometeorológico da Transferência Vertical de Vapor D'água e Energia em Milho*. Porto Alegre, 1988, 142 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 1988.
- FONTANA, D.C. *Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Soja (*Glycine max*, (L.) Merril) Irrigada e não Irrigada*. Porto Alegre, 1987, 121 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Faculdade de Agronomia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre-RS, 1987.
- FONTANA, D.C., CUNHA, G.R.C., BERGAMASCHI, H. et al. Balanço de Radiação e Balanço de Energia em Cultura de Girassol. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió, AL. *Anais...*, Maceió. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491 p. p. 313-321.
- GRASSER, E.A., VAN BAVEL, C.H.M. The effect of soil moisture upon soil albedo. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 27, p. 17-26. 1982.
- JONES, H.G. *Plant and Microclimate: a Quantitative Approach to Environmental Plant Physiology*. New York: Cambridge University Press. 1983. 323 p.
- KANEMASU, E.T., ARKIN, G.F. Radiant energy and light environment of crops. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 14, p. 211-225. 1974.
- LEITÃO, M., AZEVEDO, P.V. Reflectância de uma cultura de soja irrigada nas condições semi-áridas do Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1989, Maceió, AL. *Anais...*, Maceió. Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1989. 491 p. p. 330-337.
- MELLO, O., LEMOS, R.C., ABRÃO, P.U.R. et al. Levantamento em série dos solos do Centro Agronomico. *Revista da Faculdade de Agronomia e Veterinária da Universidade Federal do Rio Grande do Sul*, Porto Alegre, v. 8, p. 7-155. 1966.
- NKEMDIRIM, C.L. Radiative flux relations over crops. *Agricultural Meteorology*, Amsterdam, v. 11, p. 229-242. 1973.
- SANSIGOLO, C.A., OLIVEIRA, A.P., TROVATI, L.R. Variação temporal dos componentes principais do balanço de energia em grama. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 1985, Londrina, PR. *Resumos...*, Londrina: Sociedade Brasileira de Agrometeorologia, 1985. 280 p. p. 67-68.
- SIQUEIRA, O.T., SCHERER, E.E., TASSINARI, G. et al. *Recomendações de Adubação e Calagem para os Estados do Rio Grande do Sul e Santa Catarina*. Passo Fundo, CNPT/EMBRAPA. 1987. 99 p.
- TANNER, C.B., LEMON, E.R. Radiant energy utilized in evapotranspiration. *Agronomy Journal*, Madison, v. 52, p. 373-379, 1962.
- YOCUM, C.S., ALLEN, L.H., LEMON, E.R. Photosynthesis under field conditions. VI. Solar radiation balance and photosynthetic efficiency. *Agronomy Journal*, Madison, v. 56, p. 249-253. 1964.