

# ERROS COMETIDOS NA DETERMINAÇÃO DE R<sub>n</sub> E EFEITOS DA ADVECÇÃO SOBRE LE

Gertrudes Macario de OLIVEIRA<sup>1</sup> e Mário de Miranda Vilas Boas Ramos LEITÃO<sup>2</sup>

## RESUMO

Este estudo teve como objetivos analisar, o erro cometido na determinação da radiação líquida (R<sub>n</sub>), quando esta é usada nas estimativas da evapotranspiração e não se considera o mesmo período de tempo contabilizado para LE, bem como avaliar a contribuição advectiva sobre uma cultura de amendoim, durante seu ciclo de desenvolvimento. A pesquisa foi conduzida no perímetro irrigado da Estação Experimental da CODEVASF, na cidade de Rodelas – Ba, no período setembro a dezembro de 1996. Os resultados mostraram que erros de até 2,2MJ/m<sup>2</sup>/d podem ser cometidos, quando R<sub>n</sub> é usado para estimar LE, sem que seja considerado para R<sub>n</sub> o mesmo período de tempo contabilizado para LE. Verificou-se ainda neste estudo, que tanto as áreas circunvizinhas ao campo experimental, como as áreas abertas entre fileiras dentro do próprio campo, contribuíram de forma significativa para geração de advecção local de calor sensível.

**PALAVRAS CHAVE:** Radiação líquida; advecção; evapotranspiração.

## 1 - INTRODUÇÃO

O balanço de radiação à superfície representa a contabilidade da radiação que chega e sai da superfície. Portanto, seu conhecimento é fundamental para melhor planejamento das atividades agrícolas. Por outro lado, a radiação líquida representa a principal fonte de energia utilizada nos diversos processos físico-químicos que ocorrem na superfície, bem como, o principal parâmetro utilizado em métodos que estimam as perdas de água de superfícies vegetadas para a atmosfera. Dentre os estudos envolvendo a radiação líquida destacam-se: Linacre (1968), Villa Nova (1973), Leitão (1994), entre outros.

Nas estimativas de evapotranspiração é muito importante considerar a energia adicional na forma de advecção, visto que, a advecção de calor sensível de superfícies descobertas e secas pode representar uma fonte significativa de energia a ser considerada, quando são quantificadas as perdas de água por evapotranspiração em regiões áridas e semi-áridas (Monteny 1972; Rosenberg 1972;

---

<sup>1</sup> Aluna do Curso de Doutorado em Recursos Naturais - DCA/CCT/UFPB E-mail [gertrude@dca.ufpb.br](mailto:gertrude@dca.ufpb.br)

<sup>2</sup> Prof. Dr. Em Meteorologia DCA/CCT/UFPB Campina Grande - PB E-mail [miranda@dca.ufpb.br](mailto:miranda@dca.ufpb.br)

Villa Nova 1973; Leitão 1989; Prueger et al., 1996). Considerando-se que a evapotranspiração é frequentemente comparada a energia disponível ( $R_n$ ), ou estimado com base em  $R_n$  e que o conhecimento da advecção é de fundamental importância nos estudos das perdas de água por evapotranspiração em regiões semi-áridas, o presente estudo tem como objetivos, mostrar que erros significativos podem ser cometidos no cálculo de  $R_n$ , quando não se considera para este parâmetro o mesmo período contabilizado para a evapotranspiração, bem como avaliar os efeitos advectivos sobre uma cultura de amendoim irrigado, durante seu ciclo de desenvolvimento.

## 2 - MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo foi conduzido durante o período de 20 de setembro a 23 de dezembro de 1996, no perímetro irrigado da Estação Experimental da Companhia de Desenvolvimento do Vale do São Francisco - CODEVASF, no município de Rodelas - Ba (lat. 08°50'S; long. 38°46'W; alt. 270m), a cultura utilizada foi o amendoim (*Arachis hipogaea* L.), cultivar BR-1. Para monitorar o experimento, três torres micrometeorológicas foram instaladas ao longo do campo experimental, na direção predominante do vento, distanciadas 25m uma da outra (fig. 1), com sensores para medir temperatura do ar e úmida a 1 e 2m, radiação solar incidente e refletida, saldo de radiação, fluxo de calor no solo e velocidade do vento a 1 e 2m. A aquisição dos dados foi efetuada através de um MICROLOGGER 21X, a cada 1 segundo, que possibilitaram médias a cada 5 minutos, a partir das quais foram determinados os totais diários. Para efeito das análises, o campo experimental foi dividido em duas áreas: área 1 – compreende a primeira metade do campo (entre as torres 1 e 2) e área 2 – considerando a segunda metade do campo (entre as torres 2 e 3).

### 2.1 - Balanço de radiação.

O balanço de radiação à superfície é dado pela soma dos fluxos de radiação de ondas curtas e ondas longas e pode ser expresso pela seguinte equação:

$$R_n = (K\downarrow - K\uparrow) + (L\downarrow - L\uparrow) \quad (2.1)$$

onde:  $R_n$  é o saldo de radiação,  $K\downarrow$  é a radiação de ondas curtas incidente,  $K\uparrow$  é a radiação de ondas curtas refletida pela superfície,  $L\downarrow$  é a radiação de ondas longas da atmosfera e  $L\uparrow$  é a radiação de ondas longas emitida pela superfície.

## 2.2 - Balanço de energia

O balanço de energia em sua forma simplificada pode ser escrito como:

$$R_n = LE + H + G + P \quad (2.2)$$

onde:  $R_n$  é o saldo de radiação;  $LE$  é o fluxo de calor latente, sendo  $L$  o calor latente de evaporação;  $H$  é o fluxo de calor sensível;  $G$  é o fluxo de calor no solo e  $P$  é a energia utilizada no processo fotossintético pelas plantas, a qual, segundo Villa Nova (1973) por ser muito pequena pode ser negligenciada.

Segundo Verma et al. (1978) a suposição de igualdade entre os coeficientes de difusão turbulenta para o calor sensível e vapor d'água sob condições de advecção de calor sensível, pode causar erros significativos nas estimativas de  $LE$  efetuadas pelo método do balanço de energia. Para contornar o problema e corrigir estes erros, propuseram a seguinte expressão:

$$\frac{K_h}{K_w} = 2,95 + 3,72 \frac{\Delta T}{\Delta e} + 1,72 \left( \frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \quad (2.3)$$
$$-0,1 < \frac{\Delta T}{\Delta e} < -0,8$$

onde  $\Delta T$  e  $\Delta e$  são os gradientes verticais de temperatura e pressão de vapor, respectivamente. Deste modo, a razão de Bowen corrigida ( $b_c$ ) passa a ter a seguinte forma:

$$b_c = \frac{Pc_p}{Le} \left[ 2,95 + 3,72 \frac{\Delta T}{\Delta e} + 1,72 \left( \frac{\Delta T}{\Delta e} \right)^2 \right] \frac{\Delta T}{\Delta e} \quad (2.4)$$

Portanto, a equação do balanço de energia à superfície pode ser escrita como:

$$R_n = LE(1 + b_c) + G \quad (2.5)$$

Brakke et al. (1978) propuseram uma modificação no método do balanço de energia incluindo a variação horizontal dos fluxos de calor latente e sensível. Desta forma, a equação modificada do balanço de energia acrescida do termo advectivo passa a ter a forma da equação (2.6).

$$LE_0 = \frac{Rn - G}{1 + b_c} - \frac{r}{1 + b_c} \int_0^{z_1} u(b_c \frac{Le}{P} \frac{\partial e}{\partial x} - C_p \frac{\partial T}{\partial x}) dz. \quad (2.6)$$

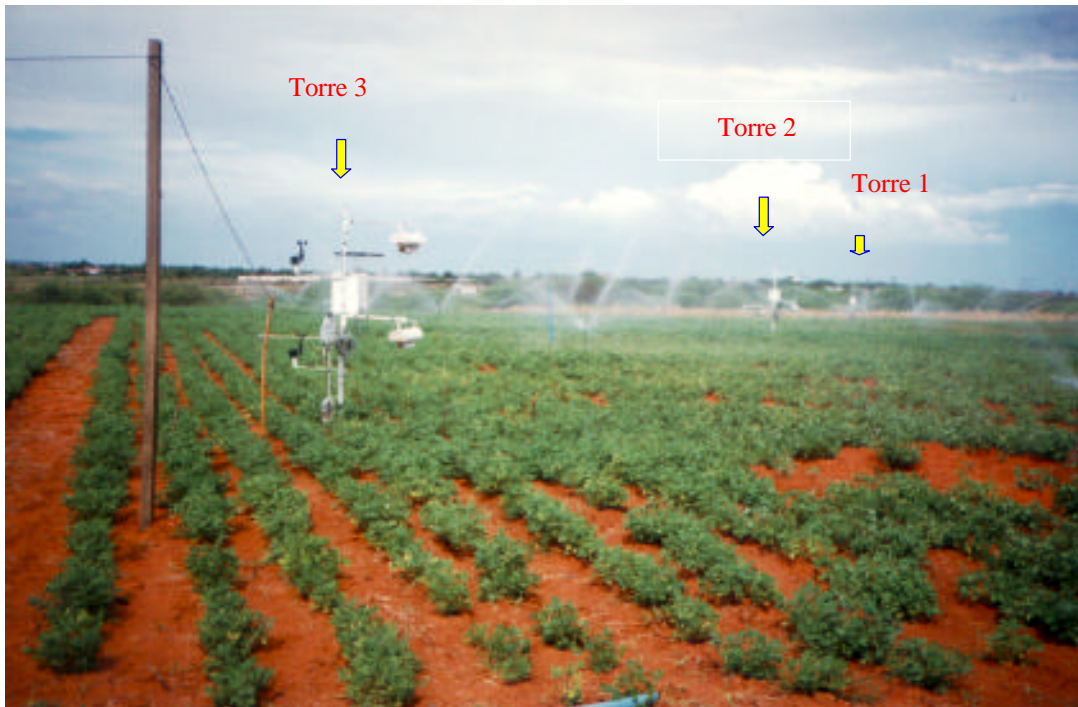


Figura 1 – Posição das torres micrometeorológicas no campo experimental.

### 3 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

A evapotranspiração é frequentemente comparada a energia disponível ( $R_n$ ), porém, quase sempre, enquanto a evapotranspiração é medida entre 9 horas de um dia e 9 horas do dia seguinte, o saldo de radiação é determinado apenas para o dia em questão, ou seja, não se considera o intervalo de tempo correspondente as 9 horas do dia seguinte e sim apenas o dia em questão. Conforme pode ser observado na figura 2, quando se calcula  $R_n$  para o dia em questão e se compara com o mesmo  $R_n$  calculado para o intervalo de tempo correspondente a 9 horas do dia em questão as 9 horas do dia seguinte, erros de até  $2,2 \text{ MJ/m}^2/\text{d}$  podem ser cometidos.

Nas figuras 3 e 4 são apresentados os valores diários integrados do fluxo de calor latente obtidos pelo método do balanço de energia original ( $LE$ ) e o fluxo de calor latente corrigido dos efeitos advectivos ( $LE_o$ ) para todo o ciclo de desenvolvimento da cultura nas duas áreas do campo experimental. Percebe-se que na área 1 (fig. 3), enquanto nas duas fases iniciais de desenvolvimento da cultura  $LE_o < LE$ , indicando ocorrência de advecção de ar úmido, devido as constantes irrigações numa área cultivada próxima, nas fases de floração e maturação verificou-se  $LE_o > LE$ , indicando que houve advecção de calor sensível, ou seja, a medida que a área vegetada próxima foi

perdendo a folhagem e deixando de ser irrigada, passou a ter maior aquecimento do solo, com isso, o vento ao passar sobre a mesma, atuou transportando ar quente e seco para a área 1, contribuindo assim para aumentar o fluxo de calor latente. Já para a área 2 (fig. 4), percebe-se que praticamente durante todos os dias  $LE_o > LE$ , indicando que esta área foi influenciada pela entrada de ar quente e seco durante todo o ciclo de desenvolvimento da cultura, ou seja, desde a fase de solo descoberto até a fase de floração, a área 2 foi afetada por advecção local, gerada pelo aquecimento da superfície descoberta dentro da área experimental. Na fase de maturação, houve uma acentuada contribuição de energia adicional sobre a área 2, que resultou da influência advectiva não apenas da área de solo descoberto entre fileiras dentro do próprio campo, como também de áreas sem vegetação localizada a sul-sudeste do campo experimental.

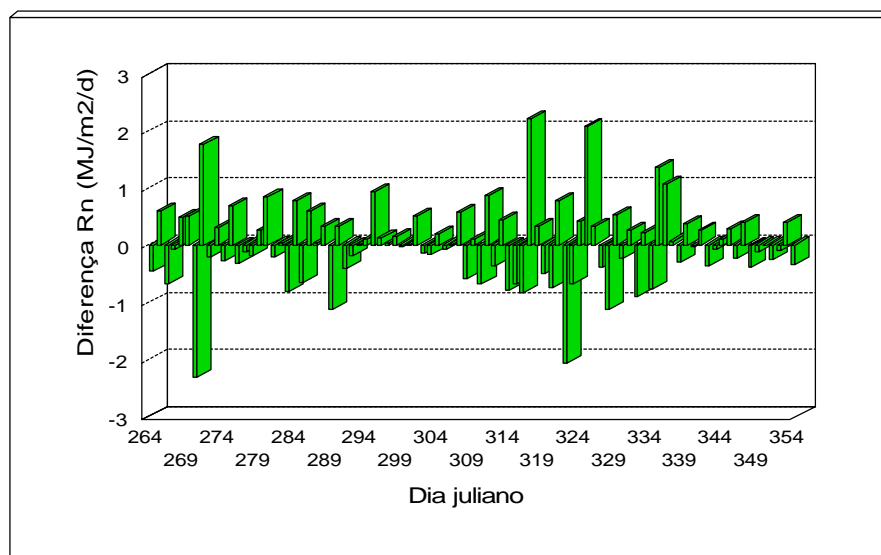


Figura 2 - Diferença entre Rn integrado durante o período diurno e integrado de 9 horas do dia em questão a 9 horas do dia seguinte.

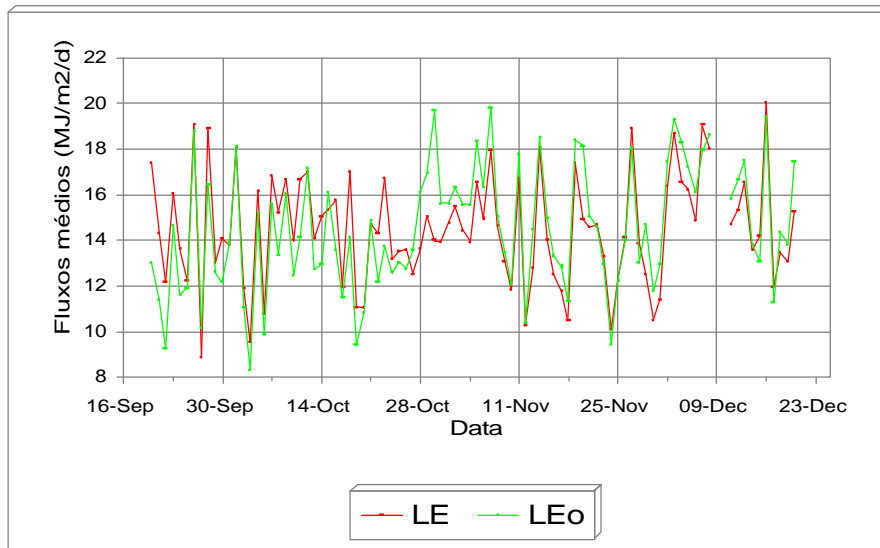


Figura 3 – Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 1, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

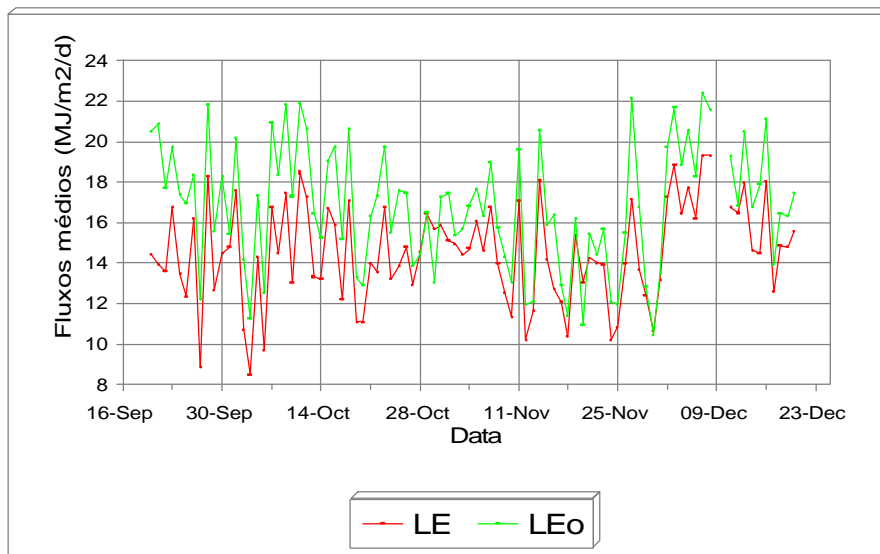


Figura 4 – Fluxos LE e LEO obtidos pelo MBE original e corrigido da advecção na área 2, ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

#### 4 – CONCLUSÕES

Os resultados mostram que podem ser encontradas diferenças de até  $2,2\text{MJ/m}^2/\text{d}$  entre  $R_n$  calculado para um determinado dia e  $R_n$  calculado para o período de 9 horas deste dia e 9 horas do dia seguinte. Deste modo, erros de mesma magnitude podem ser cometidos quando  $R_n$  é usado para estimar LE, sem que seja considerado para  $R_n$  o mesmo período de tempo contabilizado para LE.

Por outro lado, analisando-se os efeitos advectivos sobre o balanço de energia, observou-se que enquanto na primeira parte do campo experimental (área 1), houve contribuição advectiva de ar úmido, proveniente das vizinhanças do campo constantemente irrigadas, na segunda metade (área 2), os efeitos advectivos resultaram da entrada de ar mais seco sobre esta área e da geração de calor sensível dentro da própria área. Isto ocorreu devido grande parte da superfície do solo entre fileiras, ter permanecido descoberta durante todo ciclo de desenvolvimento da cultura. As situações observadas nas duas áreas do campo experimental, caracterizam uma nítida advecção de ar úmido entrando na primeira metade do campo experimental e uma acentuada advecção local de ar seco sobre a segunda metade, que culminou com um aumento expressivo de LE ao longo do ciclo de desenvolvimento da cultura.

## BIBLIOGRAFIA

- Leitão, M.M.V.B.R., 1989. Balanço de radiação e energia numa cultura de soja irrigada. (Dissertação de Mestrado). **DCA/CMM - TD Nº 03**, Campina Grande, 110p.
- Leitão, M.M.V.B.R., 1994. Balanço de Radiação em Três Ecossistemas da Floresta Amazônica: Campina, Campinarana e Mata Densa. (Tese de Doutorado em Meteorologia). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 135p. (INPE 5587-TDI).
- Linacre, E.T., 1968. Estimating the net radiation flux. **Agric. Meteorol.**, 5: 49 - 63.
- Monteny, B., 1972. Evapotranspiration de diferents couverts vegetaux in region mediterranéene semi-aride. **Agric. Meteorol., Amsterdam**, 10 (  $\frac{1}{2}$ ): 19 -38.
- Prueger, J.H., Hipps, L.E., Cooper, D.I., 1996. Evaporation and the development of the local boundary layer over an irrigated surface in an arid region. **Agricultural and Forest Meteorology** 78: 223 - 237.
- Rosenberg, N.J., 1972. Frequency of potential evapotranspiration rates in Central Great Plains. **J. Irrig. Drain. Div. Am. Soc. Engrs., New York**, **98(2)**: 203 – 206. Apud. **Met. Geostrophys. Abstr.**, Lancaster, Pa., 24(1) 141, Jan. 1973. [Resumo].
- Villa Nova, N.A., 1973. Estudo sobre o balanço de energia em cultura de arroz. Tese de Livre Docência. **ESALQ-USP**. Piracicaba, 78p.