

## AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DO MÉTODO DO BALANÇO DE ENERGIA RAZÃO DE BOWEN<sup>1</sup>

A. F. S. Dias<sup>2</sup>, J. F. Medeiros<sup>3</sup>, F. Q. Porto Filho<sup>3</sup>, J. Espínola Sobrinho<sup>3</sup>, V. B. Figueiredo<sup>3</sup>.

**RESUMO:** Critérios têm sido propostos para determinar os valores confiáveis do Método do Balanço de Energia Razão de Bowen, MBERB quanto aos fluxos de calor latente e sensível baseados nos limites de resolução dos sensores e gradientes de pressão de vapor. O objetivo do presente estudo foi analisar a confiabilidade do MBERB quanto ao instrumental micrometeorológico utilizado através da análise física do método para identificação dos valores inconsistentes. Os resultados mostraram que a adoção dos valores do MBERB oferece menor confiabilidade no período noturno, quando mais da metade dos valores analisados constituem erros. Confiabilidade maior é proporcionada pelos valores referentes ao período diurno, entretanto, os erros constatados superam um quinto dos valores analisados.

**PALAVRAS CHAVE:** *Ricinus communis* L; Fluxo de Calor Latente; Erro micrometeorológico.

### ANALYSIS OF RELIABILITY OF BOWEN RATIO-ENERGY BALANCE METHOD IN SEMI-ARID

**ABSTRACT:** Criteria have been proposed to determine reliable values of Bowen ratio-energy balance method, BREBM about the flow of latent and sensible heat based on the limits of resolution of sensors and gradients of vapor pressure. The purpose of this study was to analyze the reliability of BREBM on the micrometeorological instruments used through of physical analysis of the method to identify the inconsistent values. The results showed that adoption of values of BREBM offers lower reliability in the evening, when more than half of the values are considered errors. Higher reliability is provided by values for daytime, however, the errors found exceed one fifth of the values.

**KEYWORDS:** *Ricinus communis* L; Flow of latent heat; micrometeorological Errors.

**INTRODUÇÃO:** A essência do conceito de balanço de radiação consiste na afirmação de que a diferença entre a energia que entra e a energia que sai de um dado sistema, corresponde

<sup>1</sup> Trabalho financiado com recursos do Edital Universal 2006 do CNPq

<sup>2</sup> Engenheiro Agrônomo M. Sc. Irrigação e Drenagem, Extensionista Rural, EMATER-RO, Tel.: (69) 3411 4550, (69) 8133 1070, (69) 9283 1497, e-mail: diasafs@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Prof. Dr., Departamento de Ciência Ambientais, UFERSA, Mossoró-RN.

à energia utilizada por esse sistema. O balanço de radiação em um sistema vegetado é constituído dos fluxos verticais de calor latente, de calor sensível, do calor no solo e do saldo de radiação, além de fluxos associados à absorção de calor no volume ocupado pelo copado das plantas e da energia utilizada na fotossíntese. Estes dois últimos têm sido negligenciados no conjunto do balanço de radiação, bem como os fluxos advectivos de calor sensível e calor latente.

O método do balanço de radiação razão de Bowen tem sido usado para a determinação indireta do transporte vertical turbulento de vapor d'água para a atmosfera, por evaporação ou evapotranspiração, e fundamenta-se no princípio da conservação da energia aplicado aos diferentes fluxos energéticos que acontecem na superfície. O balanço de radiação, baseado no princípio físico da conservação de energia, relaciona as densidades dos fluxos de energia disponível na vegetação com a energia utilizada, principalmente o calor latente na evaporação e o calor sensível nas variações de temperatura do ar e do solo.

Em muitos trabalhos em que o método do balanço de energia razão de Bowen é utilizado, para evitar erros na estimativa dos fluxos, os dados inerentes ao erro instrumental micrometeorológico do sistema são excluídos, para tanto, PEREZ et al. (1999) propuseram critérios para determinar os valores confiáveis da razão de Bowen e de fluxos de calor latente e sensível baseados nos limites de resolução dos sensores e gradientes de pressão de vapor, fornecendo resposta prática e clara ao problema da avaliação de quando o método do balanço de energia razão de Bowen fornece valores inconsistentes. Esses autores relataram que os horários mais suscetíveis a erros pelo método do balanço de energia razão de Bowen são os de final de tarde, durante a noite e ao amanhecer, quando o saldo de radiação e o fluxo de calor no solo mudam de sinal.

O objetivo do presente estudo foi analisar a confiabilidade do método do balanço de energia razão de Bowen, considerando-se o instrumental utilizado, pelo modelo proposto por Perez et al. (1999), durante o dia e à noite, sobre um cultivo de mamona irrigada nas condições climáticas de Mossoró-RN.

**MATERIAL E MÉTODOS:** Instalou-se em posição estratégica de uma parcela experimental, cultivada com mamona (*Ricinus communis* L.) cv. BRS energia de ciclo precoce, irrigada por gotejamento, em fileiras duplas com espaçamento de 0,4 m entre plantas, 0,3 m entre fileiras simples e 1,8 m entre fileiras duplas, uma torre micrometeorológica onde foram coletados, através de um sistema semi-automático de coleta e armazenamento de dados, modelo CR 10X, Campbell Scientific Inc., programado para efetuar leituras dos sinais analógicos a cada cinco segundos e armazenamento das médias em intervalos de 10 minutos.

A área é integrante da fazenda Rafael Fernandes pertencente à Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFRSA, localizado no distrito de Alagoinha, município de Mossoró, Região Noroeste do Estado do Rio Grande do Norte, com as seguintes coordenadas geográficas: latitude 5° 03' 40'' S, longitude 37° 23' 51'' W, altitude de 72 m, distando 20 Km da sede do município. De acordo com a classificação climática de Köppen, o clima é do grupo BSw<sub>h</sub>, isto é, Tropical Semi-Árido muito quente e com estação chuvosa no Verão atrasando-se para o Outono, apresentando temperatura média de 27,4 °C, precipitação pluviométrica anual muito irregular, com média de 673,9 mm e umidade relativa do ar de 68,9%, CARMO FILHO et al. (1991) e o solo da área experimental é classificado, conforme EMBRAPA (1999), como Argissolo Vermelho-Amarelo, fase caatinga hiperxerófila e relevo plano.

Os dados de temperatura e umidade relativa do ar, medidos por dois sensores HMP 45 C, Vaisala, instalados em dois níveis acima do dossel da cultura para estimativas dos parâmetros de pressão atual e de saturação de vapor, assim como os dados do fluxo de calor no solo e saldo de radiação, foram coletados em um módulo de armazenamento e, posteriormente transferidos para um computador, onde foram processados em planilhas eletrônicas, empregando-se a razão de Bowen.

Os valores inconsistentes da razão de Bowen, incluindo aqueles fora dos limites da resolução instrumental, foram determinados segundo a análise física do método conforme Perez et al. (1999). De acordo com esses autores, a estimativa de  $\lambda E$  e  $H$  fornecida pelo método do balanço de energia razão de Bowen deve ser consistente com a relação fluxo-gradiente, mas, em algumas vezes, as medidas dão sinais incorretos para esses fluxos. Dessa forma, propuseram as classes de erros constantes da tabela 1. Assim os intervalos de erro que definem os intervalos de valores inconsistentes foram definidos pela seguinte equação:  $\varepsilon = \frac{\delta \Delta e - \gamma \delta \Delta T}{\Delta e}$ , em que  $\gamma$  é o fator psicrométrico,  $\delta \Delta T$  e  $\delta \Delta e$  são, respectivamente, os limites de resolução do instrumental para os gradientes de temperatura e de pressão de vapor. Com base nas informações constantes no manual Campbell Scientific, inc. os limites de resolução do instrumental utilizado para os gradientes de temperatura e de pressão de vapor são, respectivamente, 0,2°C e 2% para mais e para menos.

Nesse trabalho foram contabilizados e analisados, em 3628 intervalos de 10 minutos, os valores da razão de Bowen correspondentes aos erros A, B, C e D, tabela 1, em dois períodos diários: das 7:00 às 17:00 horas (período diurno) e das 17:00 às 7:00 horas do dia seguinte (período noturno).

**Tabela 1. Classes de erros gerados pela razão de Bowen (PEREZ et al. 1999).**

Classe de erro	condição
A	$(Rn-G) > 0, \Delta e > 0 \text{ e } \beta < -1 +  \varepsilon $
B	$(Rn-G) > 0, \Delta e < 0 \text{ e } \beta > -1 -  \varepsilon $
C	$(Rn-G) < 0, \Delta e > 0 \text{ e } \beta > -1 -  \varepsilon $
D	$(Rn-G) < 0, \Delta e < 0 \text{ e } \beta < -1 +  \varepsilon $
E	Mudanças rápidas em $T$ e

**Rn-G:** Energia Disponível;  **$\Delta e$ :** Diferença de Pressão de Vapor entre o nível superior e o inferior;  **$\beta$ :** Razão de Bowen;  **$T$ :** Temperatura do ar;  **$e$ :** Pressão de Vapor;  **$\varepsilon$ :** Intervalo de Erro que define o intervalo de exclusão dos valores da razão de Bowen;  **$\lambda E$  e  $H$ :** fluxos de calor latente e sensível, respectivamente.

**RESULTADOS E DISCUSSÃO:** A tabela 2 mostra para cada período o número de intervalos analisados, o percentual de erros constatados e a distribuição percentual de erros por tipo, assim como, o número total de intervalos analisados, o percentual total de erros e percentual total por tipo de erro. Os dados mostram que 37,24% dos intervalos analisados apresentaram algum tipo de erro, valor esse inferior aos 48,60% constatados por SILVA et al. (2007) sobre a cultura do maracujazeiro irrigado. O período noturno foi o que apresentou maior percentual de erros, 54,60% dos intervalos analisados, sem levar em consideração o tipo de erro. Com efeito, PEREZ et al. (1999) relataram que os dados referentes aos períodos noturnos adicionados de dados referentes aos eventos de precipitação e irrigação constituem em média 40% de erros. No presente trabalho, não foram constatados eventos de chuva durante os dias e horários estudados e a irrigação da cultura foi feita de uma a duas vezes por dia, sempre no período diurno não influenciando, portanto, no período noturno. Entretanto, o percentual de erro constatado nesse período superou o percentual constatado por aqueles autores.

**Tabela 2. Percentual total e distribuído dos erros da razão de Bowen por horário e por tipo.**

Período	intervalos	%	Por tipo de erro (%)			
			A	B	C	D
Diurno	1912	21,65	0,21	20,97	0,42	0,05
Noturno	1716	54,60	1,57	5,07	43,24	4,72
Total	3628	37,24	0,85	13,45	20,67	2,26

Quanto aos percentuais de erros por tipo e por período, destaca-se o erro tipo C, 43,24% no período noturno. De um modo geral o período noturno superou o período diurno em todos os tipos de erro, com exceção do erro do tipo B, que superou os demais nesse período, 20,97%, chegando a atingir sozinho quase o total de erros nesse período que foi de 21,65%.

Perez et al. (1999) constataram valores médios de 15%; 13%; 12,5% e 0,5% para os erros dos tipos A, B, C e D, respectivamente, em três localidades de clima semi-árido sobre



cultivo de centeio, no norte da Espanha, aqui, mais uma vez, os dados contrastam com os dados encontrados por aqueles autores, com exceção do erro tipo B, quando foi obtido, respectivamente: 0,85%; 13,45%; 20,67% e 2,26% para os erros do tipo A, B, C e D. Mesmo considerando-se os dados referentes aos períodos noturnos os valores são díspares: 1,57%; 5,07%; 43,24% e 4,72%, para os erros A, B, C e D respectivamente.

**CONCLUSÕES:** Os resultados mostraram que, nas condições do presente estudo, a adoção dos valores do método do balanço de energia razão de Bowen oferece menor confiabilidade no período noturno, quando mais da metade dos valores analisados constituem erros. Confiabilidade maior é proporcionada pelos valores referentes ao período diurno, entretanto, no presente estudo, os erros constatados superam um quinto dos valores analisados.

**AGRADECIMENTOS:** À Associação de Assistência Técnica e Extensão Rural do Estado de Rondônia - EMATER-RO, pela liberação do primeiro autor para cursar o Mestrado em Irrigação e Drenagem que deu oportunidade para realização da presente pesquisa.



## REFERÊNCIAS

CARMO FILHO, F.; ESPÍNOLA SOBRINHO, J.; MAIA NETO, J. M. **Dados meteorológicos de Mossoró (Jan. de 1988 a Dez. de 1990)**. Mossoró: ESAM/FGD, 1991. 121p. (Coleção Mossoroense, série C).

Model HMP45C Temperature end Relative Humidity Probe. Campbell Scientific, inc. disponível em [www.campbellscientific.com/documents/manuals/hmp45c](http://www.campbellscientific.com/documents/manuals/hmp45c) pdf em 06/03/2008.

PEREZ, P. J.; CASTELLVI, F.; IBAÑEZ, M.; ROSELL, J. I. **Assessment of reliability of Bowen ratio method for partitioning fluxes** . Agricultural end Forest Meteorology, Amsterdam, v.97, n.3, p.141-50, 1999.

SILVA, T. J. A.; FOLEGATTI, M. V.; SILVA, C. R.; ALVES JÚNIOR, J.; BONFIM-SILVA, E. M. **Balanco de energia e estimativa de evapotranspiração em culturas irrigadas de maracujazeiro pelo método da razão de Bowen**. Eng. Agric., Jaboticabal, v.27, n.2, p.392-403, 2007.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.