

DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE RADIAÇÃO_COM ATMÔMETROS DE BELLANI

DETERMINATION OF THE NET RADIATION WITH BELLANI'S ATMOMETER

Antonio Tubelis¹ e Nilson Augusto Villa Nova²

RESUMO

O trabalho apresenta um método alternativo de medida do balanço de radiação sobre superfícies vegetadas. O material empregado é de baixo custo, fácil instalação, manutenção e operação. Dois atmômetros do tipo placa negra de Bellani, um voltado para o Zênite e outro para o Nadir do local, foram instalados em um suporte metálico especial. A superfície evaporante de cada atmômetro ficou submetida a uma tensão negativa de 0,20 m de coluna d'água e foi continuamente alimentada com água destilada, armazenada em uma bureta com 100 ml de capacidade, onde se fazia a leitura da água evaporada. Verificou-se que a diferença entre a quantidade de água evaporada nas cúpulas era diretamente proporcional ao balanço de radiação do dossel vegetal de grama batatais (*Paspalum notatum* L.). A diferença entre os volumes de água evaporada mostrou-se independente da tensão aplicada nas cápsulas, da temperatura e tensão do vapor d'água na atmosfera mas foi influenciada pelo vento percorrido. O equipamento proposto mostrou-se adequado para a medida do balanço de radiação de superfícies vegetadas em base horária e diária.

Palavras-chave: Instrumental meteorológico, balanço de radiação, atmômetro de Bellani.

SUMMARY

This paper presents an alternative method to measure the radiation balance over cropped surfaces. The employed material is of low cost, easy to instal, maintain and operate. Two atmometers of the type

¹ Engº Agrº, Professor Titular, Departamento de Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agronômicas/UNESP, Bolsista do CNPq. Com apoio financeiro da FAPESP e Fundação Para o Desenvolvimento da UNESP.

Cx. P. 237, 18603-970, Botucatu, SP.

² Engº Agrº, Professor Associado, Departamento de Física e Meteorologia, Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz/USP, Cx.P. 9, 13418-900, Piracicaba, SP. Bolsista do

Bellani's black plate, one faced up and the other faced down, were installed on a special metallic set up. The evaporation surface of each atmometer were subject to a negative tension of 0.20 m column of water and was continuously feeded with destiled water, kept in burette with 100 ml capacity, where the volume of evaporated water was measured. It was verified that the difference between the quantity of the evaporated water by the plates were proportional to the radiation balance of the vegetal dossel of the grass (*Paspalum notatum* L.). The difference between the volumes of evaporated water was not affected by the applied tension in the plates, by the air temperature and water vapor tension of the atmosphere, but was influenced by the wind run. The proposed equipment was shown adequate to measure the radiation balance of a cropped surface on a hourly or daily base.

Key words: Meteorological instruments, radiation balance, Bellani atmometer.

INTRODUÇÃO

O balanço de radiação sobre o dossel vegetal de uma cultura representa a quantidade de energia, na forma de onda eletromagnética, que o agroecossistema dispõe para atender os fluxos de energia necessários nos processos de evapotranspiração, aquecimento do ar e do solo e de fotossíntese (TUBELIS & NASCIMENTO, 1980). A sua medida é feita com o emprego de dois tipos de radiômetros comerciais: o de jato de ar, desenvolvido por GIER & DUNKLE (1951), recentemente modificado por MARUR & PINTO (1994) e o de hemisférios de filme transparente de polietileno, desenvolvido por SCHULZE (1953).

Embora a medida do balanço de radiação tenha se iniciado em 1951, a medida da radiação solar, desde muitos anos, vinha sendo feita com o uso de radiômetros ou atmômetros. Dentre os vários tipos de atmômetros existentes, a placa negra de Bellani tem apresentado resultados com boa correlação com a radiação solar, conforme constatado por LIVINGSTON (1935), ROBERTSON (1954), ROBERTSON & HOLMES (1958), PELTON (1964) e PEREIRA & COELHO (1992).

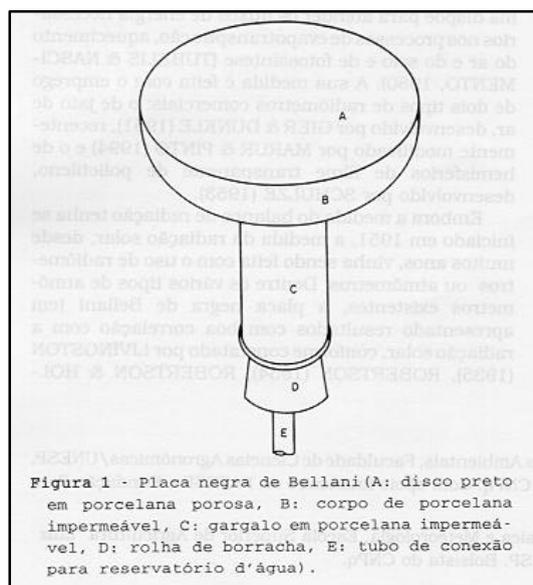
O presente trabalho trata da construção de um radiômetro, destinado á medida do balanço de radiação sobre superfícies vegetadas, tendo como elemento sensível placas negra de Bellani. O aparelho é de baixo custo e fácil instalação, manutenção e operação.

MATERIAL E MÉTODOS

Na medida indireta do balanço de radiação foram empregados atmômetros tipo placa negra de

Bellani, do tipo 9 C, adquiridas da firma Livingston Atmometer, estabelecida em Pauma Valley, California, Estados Unidos da América do Norte. O atmômetro apresenta a forma de uma taça constituída de porcelana impermeável. No lugar da abertura da taça existe um disco negro de porcelana porosa, que é a superfície evaporante do aparelho (Figura 1).

A unidade medidora constou da instalação de duas placas negras de Bellani, uma voltada para o Zênite e outra para o Nadir, apresentando as superfícies evaporantes situadas a 1,20 m acima da superfície do dossel vegetal (gramado), conforme mostra a Figura 2. Cada placa foi abastecida com água destilada armazenada em uma bureta com 100 ml de capacidade e graduação de 0,1 ml. As superfícies evaporantes das placas foram mantidas em tensões negativas constantes, equivalentes a colunas de água com comprimento entre 0,05 e 0,25 m. A tensão aplicada foi dada pela diferença em altura existente entre os níveis da superfície evaporante e do respiro existente na base da bureta. A torneira da bureta foi eliminada para facilitar a ascensão das bolhas que se formam no respiro. As placas ficavam afastadas entre 0,20 e 1,20 m da base. O ângulo formado entre os suportes das placas variou entre os limites de 15 e 180°. A bissetriz desse ângulo de abertura era orientado segundo o meridiano solar do local, ficando os atmômetros a norte e as buretas de alimentação a sul da haste da montagem.



A medida do balanço de radiação acima do dossel vegetal (gramado) foi feita com radiômetro do tipo proposto por SCHULZE (FUNK, 1959), com termopilha protegida por dois hemisférios de filme de polietileno transparente, adquirido da firma Middleton & Co. Pty. Ltd., estabelecida em Melbourne, Austrália. As constantes de calibração do radiômetro foram $0,415 \text{ mV/mW.cm}^{-2}$, para radiação de ondas curtas e de $0,411 \text{ mV/mW.cm}^{-2}$ para radiação de ondas longas. O elemento sensível do radiômetro foi instalado no mesmo nível das superfícies evaporantes das placas negras de Bellani.

O vento percorrido no nível de instalação das superfícies evaporantes foi medido com um

anemógrafo, de fabricação Lambrecht, tipo 1482, com limiar de velocidade de 1,0 m/s.

As medidas da temperatura e da umidade relativa do ar foram feitas, respectivamente, com um termômetro com coluna de mercúrio, marca Jumo, escala de +10 a + 100°C, graduação de 0,1°C e com um higrógrafo Salmoiraghi, do tipo de cabelo, com resolução de 2,2 mm/2% de variação da umidade relativa, ao nível de 70% de umidade. Os instrumentos permaneceram instalados em abrigo termométrico, de paredes simples, ficando a altura média dos elementos sensíveis a 1,20 m acima do dossel vegetal.

As medições foram conduzidas junto à área instrumental da Estação Climatológica Principal da Fazenda Experimental Lageado, Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"-UNESP, em Botucatu, Estado de São Paulo.

O volume de água evaporada por um atmômetro do tipo placa negra de Bellani, livremente exposta na atmosfera, é uma função múltipla do tipo:

$$E = f(Q, t, dt, de, v, P, T) \quad (1)$$

onde: **E** é o volume de água evaporada pelo atmômetro, **Q** a radiação total incidente na superfície evaporante, **t** a temperatura da superfície evaporante, **dt** a diferença entre as temperaturas da superfície evaporante e do ar, **de** a diferença entre as pressões de vapor d'água na superfície evaporante e no ar, **v** é o vento percorrido, **P** é a pressão atmosférica e **T** é o potencial total da água na superfície evaporante (TUBELIS, 1974).

Quando se instalam duas cápsulas negras de Bellani (Figura 2), com as superfícies evaporantes submetidas ao mesmo potencial total d'água e no mesmo nível acima do dossel vegetal, uma voltada para o Zênite (**Z**) e outra para o Nadir (**N**), a diferença de evaporação que ocorre nas cápsulas (**E_{zn}**) passa a ser uma função do balanço de radiação (**H**) (TUBELIS, 1974):

$$E_{zn} = f(H) \quad (1)$$

onde: $E_{zn} = E_z -$

E_n e $H = Q_z -$

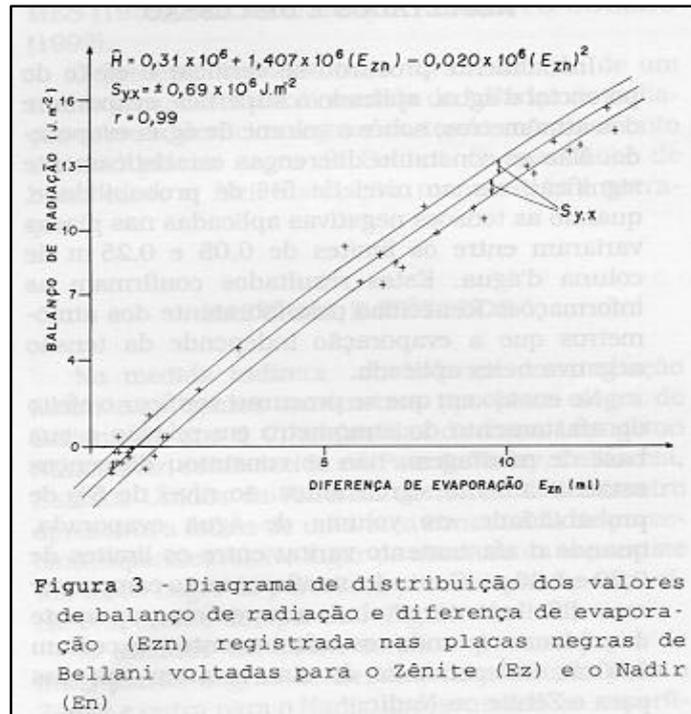
Q_n .

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente procurou-se verificar o efeito do potencial d'água, aplicado à superfície evaporante dos atmômetros, sobre o volume de água evaporada. Não se constatou diferenças estatisticamente significativas ao nível de 5% de probabilidade, quando as tensões negativas aplicadas nas placas variaram

entre os limites de 0,05 e 0,25 m de coluna d'água. Estes resultados confirmam as informações fornecidas pelo fabricante dos atmômetros que a evaporação independe da tensão negativa neles aplicada.

No ensaio em que se procurou verificar o efeito do afastamento do atmômetro em relação a sua base de montagem, não se constatou diferenças estatisticamente significantes, ao nível de 5% de probabilidade, no volume de água evaporada, quando o afastamento variou entre os limites de 0,20 e 1,20 m. Contudo, verificou-se no campo, ser mais difícil manter nivelada a superfície evaporante das placas quando os afastamentos excediam 0,80 m, independente de elas estarem voltadas para o Zênite ou



Nadir.

No ensaio em que se procurou verificar o efeito do ângulo de abertura (α) existente entre os suportes das duas placas, sobre a evaporação, não se constatou diferenças estatisticamente significativas, ao nível de 5% de probabilidade, no volume de água evaporada, quando o ângulo de abertura variou entre os limites de 15 e 180°. Porém, verificou-se que o erro da estimativa de y em relação a x mostrou a tendência de apresentar menores valores para ângulos de abertura situados entre 90 e 120°. A diferença de evaporação ocorrida entre as duas placas negras de Bellani, uma voltada para Zênite e outra para Nadir, mostrou-se estatisticamente correlacionada com o balanço de radiação do dossel vegetal. A relação entre essas duas variáveis foi expressa por equações do tipo quadrática, linear, exponencial e logarítmica, respectivamente, em ordem decrescente de ajuste. Para a montagem em que se empregou ângulo de abertura de 60° entre os suportes das placas e afastamento de 0,80 m entre as placas e a base, a equação de regressão que melhor se ajustou foi:

$$H' = 0,31 \cdot 10^6 + 1,407 \cdot 10^6 (E_{zn}) - 0,020 \cdot 10^6 (E_{zn})^2 \quad (3)$$

onde H' é a estimativa do balanço de radiação, expresso em Joule.m^{-2} ; E_{zn} é a diferença entre a evaporação ocorrida na cápsula voltada para o Zênite (E_z) e a voltada para o Nadir (E_n), expressa em mililitros. A equação (3) apresentou o desvio padrão ($S_{y.x}$) de $\pm 0,69 \cdot 10^6 \text{ J.m}^{-2}$ e coeficiente de correlação $r = + 0,99$ (Figura 4).

Com o objetivo de reduzir o desvio padrão da estimativa do balanço de radiação correlacionou-se a diferença entre os valores medidos e estimados pela equação 3 com os valores dos parâmetros meteorológicos déficit de saturação, temperatura do ar e vento percorrido, medidos no mesmo nível de medida da evaporação. Verificou-se que apenas o parâmetro vento percorrido mostrou-se correlacionado com os desvios do balanço de radiação. A equação linear de regressão entre os parâmetros citados foi:

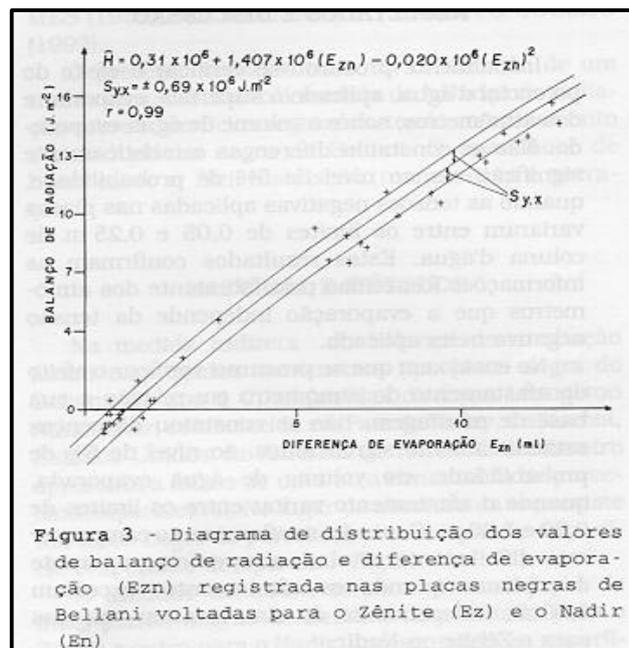
$$H - H' = -0,82 \cdot 10^6 + 0,0130 \cdot 10^6 v \quad 2$$

onde H é o balanço de radiação medido (J.m^{-2}); H' é a estimativa do balanço de radiação dada pela equação (3) e v é o vento percorrido (km). Substituindo-se na equação (4) a equação (3) vem:

$$H = -0,51 \cdot 10^6 + 0,0130 \cdot 10^6 v + 1,407 \cdot 10^6 (E_{zn}) - 0,020 \cdot (E_{zn})^2 \quad (5)$$

A equação (5) apresentou desvio padrão ($S_{y.x}$) de $\pm 0,606 \cdot 10^6 \text{ J.m}^{-2}$.

Comparando-se os desvios padrões associados às equações (3) e (5), verifica-se que a introdução do vento percorrido na estimativa do balanço de radiação reduz o desvio padrão em 12%.



CONCLUSÕES

O balanço de radiação sobre o dossel vegetal de uma cultura pode ser obtido medindo-se a evaporação ocorrida em duas placas negras de Bellani, uma voltada para o Zênite e outra para o Nadir, quando instaladas na mesma altura e submetidas ao mesmo potencial total de água. A precisão da estimativa pode ser melhorada em cerca de 12% quando se leva em consideração o vento percorrido no nível de medida.

AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq pela concessão da Bolsa de Pesquisa (PROC. 301603/88-0/AG/FV).

À Fundação de Amparo á Pesquisa do Estado de São Paulo e Fundação Para o Desenvolvimento da UNESP pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- FUNK, J. P. Improved polythene-shielded net radiometer. **Journal of Scientific Instruments**, Victoria, v. 36, n. 6, p. 269-270, 1959.
- GIER, J. L., DUNKLE, R. V. Total hemisferical radiometers. **AIEE Transactions**, New York, v. 70, p. 339-343, 1951.
- LIVINGSTON, B. E. Atmometers of porous porcelain and paper, their use in physiological ecology. **Ecology**, Durham, v. 16, n. 3, p. 438-472, 1935.
- MARUR, C. J., PINTO, H. S. Desenvolvimento de um radiômetro líquido ventilado e comparação de dois modelos de sensores. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 2, p. 1-7, 1994.
- PEREIRA, A. S., COELHO, R. D. Determinação da evapotranspiração de referência (ET_0) através de atmômetros modificados em condições tropicais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 21, Santa Maria, 1992. **Anais...** Santa Maria: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1992, p. 636-648.
- PELTON, W. L. Evaporation from atmometers and pans. **Can. J. Pl. Sci.**, Ottawa, v. 44, p. 397-404, 1964
- ROBERTSON, G. W. **Latent evaporation: its concept, measurement and application.** Ottawa:Department of Agriculture, Experimental Farms Service, Soil and Agricultural Engineering Division, Field Husbandry, 1954. 20 p.

- ROBERTSON, G. W., HOLMES, R.M. New concept of the measurement of evaporations of climatic purposes. In: ASSEMBLÉE GÉNÉRALE DE TORONTO, 1957, Toronto, Canada. **Comptes Rendus et Rapports...** Gentbrugge: Inter. Assoc. Sci. Hydrol. 1958, v. 3, p. 399-406
- SCHULZE, R. Uber ein strahlungsmessgeret mit ultrarotdurschlassiger windschutzhaube am Meteorologischen Observatorium Hamburg. **Geof. pura appl.**, Milano, v. 24, 167 p. 1953.
- TUBELIS, A. **Radiômetro líquido evaporimétrico de placas negras de Bellani**. Botucatu: Faculdade de Ciências Médicas e Biológicas de Botucatu, 1974. 87 p. Tese (Livre-Docência, 1974).
- TUBELIS, A., NASCIMENTO, F. J. L. do **Meteorologia descritiva, fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paulo: Livraria Nobel, 1980. 374 p.