

# DETERMINAÇÃO DO FLUXO DE CALOR LATENTE ATRAVÉS DE UM MODELO FUZZY NOS CULTIVOS DA RÚCULA (*Eruca sativa* L.) E PIMENTÃO EM AMBIENTES PROTEGIDOS.

Orlando Tadeu Lima de Souza<sup>1</sup>, José Ângelo Cagnon<sup>2</sup>, Antonio Ribeiro da Cunha<sup>3</sup>

**ABSTRACT** - The aim of this work, determine the stream of latent heat for the cultivations in protected environments, through of a mathematical model, based the Fuzzy Theory. The values of latent heat stream, determined through a model proposed were compared with the values that were calculated of the method of reason by Bowen and they present a high correlation when compared in a statistic way.

## INTRODUÇÃO

O crescimento e a produtividade das plantas estão diretamente relacionados com o consumo de água, cuja maior parte utilizada pelas plantas é vaporizada para a atmosfera, através do processo de evapotranspiração, cuja energia é disponibilizada pela energia radiante e térmica oriundas da radiação solar.

Bowen (1926) foi o pioneiro nos estudos do balanço de energia sobre uma superfície natural, determinando a razão entre os fluxos de calor latente e sensível, durante o processo de evaporação (Cunha, 2002).

O método da razão de Bowen é um método considerado como um processo racional para estimar a evapotranspiração, a partir do cálculo do fluxo de calor latente (Villa Nova, 1973).

Modelos matemáticos implantados em programas computacionais têm apresentado significativos resultados em sistemas não-lineares e complexos nas mais diversas áreas, entre as quais, a teoria de controle, modelo de reconhecimento e análise de decisão. São os chamados sistemas inteligentes dentre os quais se destaca a Lógica Fuzzy.

Segundo Simões (1999), a Lógica Fuzzy é uma técnica que incorpora a forma humana de pensar em sistemas de controle. Um controlador fuzzy típico pode ser projetado para comportar-se conforme o raciocínio dedutivo, isto é, o processo que as pessoas utilizam para inferir conclusões baseadas em informações que elas já conhecem.

Assim sendo, este trabalho teve como objetivo o cálculo do fluxo de calor latente, para o cultivo da rúcula e do pimentão, em ambientes protegidos, através de um modelo fuzzy baseado no método da razão de Bowen, proposto por Souza(2004).

## MATERIAIS E MÉTODO

Os dados utilizados foram obtidos através de ensaios conduzidos em estufa, do tipo arco não-

climatizada, para o cultivo da rúcula de folha larga (*Eruca sativa* L.) e para o pimentão na área experimental do Departamento de Recursos Naturais da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Botucatu, São Paulo (latitude 22° 51'S; longitude 48°26'W e altitude 786 m), durante o período de 12/09/2002 a 10/10/2002 e de 21/04/1999 a 03/11/1999, respectivamente.

O balanço da energia disponível para os processos de desenvolvimento da cultura pode ser definido de acordo com a equação 1:

$$Rn=H+ LE +G \quad (1)$$

Em que: Rn é o saldo da radiação solar, H é o fluxo de calor sensível, LE é o fluxo de calor latente e G é o fluxo de calor no solo, cujas unidades desses parâmetros são dadas em MJ/m<sup>2</sup>.

Rn e G são valores medidos por sensores instalados na área de plantio, enquanto que, H e LE são estimados. Como H é fundamentalmente função da temperatura ambiente (T), que também é uma variável medida, o modelo fuzzy adotado neste trabalho, proposto por Souza(2004), utiliza três variáveis de entrada: O saldo da radiação (Rn), o fluxo de calor no solo (G) e a temperatura ambiente (T) dada em °C e uma variável de saída que é o fluxo de calor latente (LE), que é a variável desejada. Este modelo foi baseado no método da razão de Bowen calcado na equação do balanço de energia para a determinação de LE.

As equações utilizadas, que estabelecem os índices de identificação, grau de pertinência e seus respectivos graus complementares, elementos intrínsecos na Lógica Fuzzy, assim como o cálculo de LE, para as variáveis envolvidas, foram as estabelecidas por Souza (2004).

Os resultados de LE, obtidos pelo modelo fuzzy, foram comparados aos valores encontrados pelo método da razão de Bowen, segundo Souza et al (2003) e Cunha et al (2002).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores obtidos para o fluxo de calor latente, determinado a partir de Rn, G e T, pelo método de Bowen e pelo modelo fuzzy, estão plotados nos gráficos das figuras 1 e 2.

<sup>1</sup>Professor Adjunto Doutor da Universidade Federal Rural da Amazônia-UFRA-Belém-Pará-Brasil

<sup>2</sup>Professor Livre Docente da Universidade Estadual Paulista-UNESP-Bauru-SP-Brasil.

<sup>3</sup>Engenheiro Agrônomo Doutor da Universidade Estadual Paulista-UNESP-Botucatu-SP-Brasil

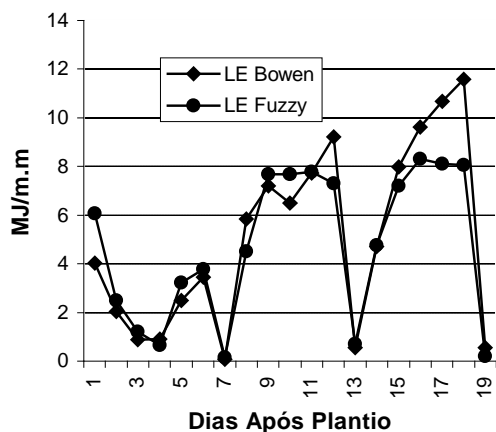


Figura 1. Curvas de LE determinadas, para a rúcula, pelo método de Bowen e pelo modelo fuzzy.

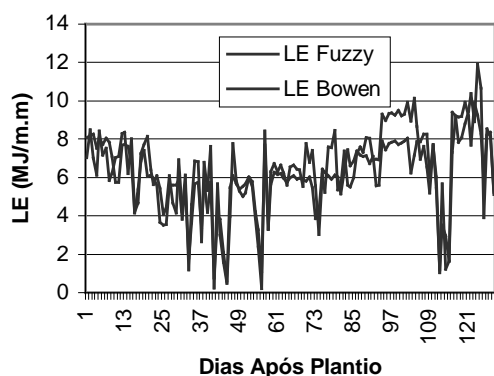


Figura 2. Curvas de LE determinadas, para o pimentão, pelo método de Bowen e pelo modelo fuzzy.

A análise estatística comparativa, para LE determinado pelo método de Bowen e através do modelo fuzzy, para a rúcula, indicou que as diferenças encontradas não foram significativas para 0,01% de probabilidade de acordo com o teste t realizado, havendo 94% de probabilidade dos valores de LE estarem correlacionados para os dois métodos.

O valor obtido para o coeficiente de determinação foi de 0,87, estando próximo à faixa considerada de alta correlação, o que comprova a validade dos resultados obtidos pelo modelo fuzzy.

Quanto ao cultivo do pimentão, a análise estatística comparativa com base nos resultados para LE, determinado pelo método de Bowen e através do modelo fuzzy, apresentou valor de 0,86 para o coeficiente de correlação  $r$ , indicando que as diferenças encontradas não foram significativas para 0,1% de probabilidade de acordo com o teste t realizado, havendo 87% de probabilidade dos valores de LE estarem correlacionados.

A correlação dos valores obtidos para LE pelo método de Bowen e pelo modelo fuzzy apresentou o coeficiente de determinação de, aproximadamente, 0,74, estando na faixa de correlação considerada

aceitável, também comprovando a validade dos resultados obtidos pelo modelo fuzzy.

## REFERÊNCIAS

- Bowen, I.S. The ratio of heat losses by conduction by evaporation from any water surface. *Physical Review*, New York, v. 27, p. 779-787, 1926.
- Cunha, A. R.; Escobedo, J.F.; Klosowski, E. S. Estimativa do fluxo de calor latente pelo balanço de energia em cultivo protegido de pimentão. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v.37, n.6, p.735-743, 2002.
- Simões, M.G. Controle e modelagem fuzzy. São Paulo: Edgard Blücher, 1999. 165p.
- Souza, O. T.L. et al. Evapotranspiração da rúcula determinada em função da razão de Bowen e do tanque classe A em ambiente protegido. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGROMETEOROLOGIA, 13, 2003, Santa Maria. Anais... Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2003. v.1, p. 211-12.
- Souza, O. T.L.S. Desenvolvimento de um modelo fuzzy pra determinação do calor latente com aplicação em sistemas de irrigação. 2004. 113f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.
- Villa Nova, N.A. Estudos sobre o balanço de energia em cultura de arroz. 1973. 89f. Tese (Livre Docência) – Escola Superior de Agronomia Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1973.