

**DETERMINAÇÃO DO COEFICIENTE DE EMISSIVIDADE DE FOLHAS DE BATATA E
GIRASSOL¹**
**DETERMINATION OF THERMAL EMISSIVITY COEFFICIENTS OF POTATO AND
SUNFLOWER LEAVES**

Arno Bernardo Heldwein²

RESUMO

O conhecimento do coeficiente de emissividade de folhas individuais ou dosséis vegetativos é importante para a termometria infravermelha e estudos de balanço de energia destas superfícies. No trabalho foram determinados os coeficientes de emissividade de radiação de onda longa (ϵ) de folhas de batata (*Solanum tuberosum*, L., cv. Granola) e girassol (*Helianthus annuus*, L., cv. Francassol), para condições de ausência e de presença de molhamento foliar. Cada folha permaneceu flutuando sobre água em movimento, que se encontrava em equilíbrio térmico e radiativo com o ambiente do laboratório, sendo realizadas medidas da temperatura da água (T_{wa}) e da folha (T_f) com o auxílio de um termômetro infravermelho. A T_{wa} foi medida sobre dois adesivos com ϵ conhecido ($\epsilon_r = 0,950$), sendo um fixado sobre a face externa do vidro que continha a água e o outro sobre uma folha de cobre mantida na superfície livre da água. Os valores de T_{wa} medidos com termômetro infravermelho não diferiram daqueles medidos com termômetro padrão de mercúrio e a variação da temperatura da água com o tempo foi desprezível. Assumiu-se como condição de contorno que o valor real de T_f e T_{wa} são iguais, porém o valor de T_f é medido com um desvio pelo termômetro infravermelho quando o coeficiente de emissividade da folha (ϵ_f) difere de ϵ_r , uma vez que a calibração deste termômetro é fixa para superfícies com emissividade igual a 0,950. O cálculo do valor de ϵ_f foi efetuado com base na lei de Stefan-Boltzmann. Na condição de ausência de molhamento obteve-se $\epsilon_f=0,954$ e $\epsilon_f=0,950$ para folhas de batata e de girassol, respectivamente. Na condição de molhamento foliar os valores foram semelhantes.

Palavras-chave: Coeficientes de emissividade, batata, girassol, termometria infravermelha.

¹ Extraído do trabalho de Tese de Doutorado do autor aprovada pelo "Fachbereich Internationale Agrarentwicklung" da Univ. Técnica de Berlin, Albrecht-Thear-Weg 5, 14195 Berlin, BRD.

SUMMARY

The emissivity coefficient of individual leaves and canopies is usually used by infrared thermometry and energy balance studies. The thermal emissivity coefficients (ϵ) of potato (*Solanum tuberosum*, L., cv. Granola) and sunflower (*Helianthus annuus*, L., cv. Francassol) leaves without and with wetness was determined. Each leaf was maintained floating on moving water. The water was in thermal and radiative equilibrium with the laboratory environment. Measurements of water (T_{wa}) and leaf (T_f) temperature was made with an infrared thermometer. The T_{wa} was measured on two adhesive tape with known ϵ ($\epsilon_r=0.950$), one fixed at the glass surface and other fixed on a copper sheet located at the water surface. The T_{wa} values obtained with infrared thermometer did not differ from these obtained by a pattern mercury thermometer. The variation of the water temperature with the time was despicable. As boundary condition was assumed that real values of T_f and T_{wa} are equal, but measurement of T_f by infrared thermometer occur with an deviation when the emissivity coefficient of the leaf (ϵ_f) differ from ϵ_r . ϵ_f was calculated based on the Stefan-Boltzmann law. Values of ϵ_f under without wetness condition were $\epsilon_f=0.954$ and $\epsilon_f=0.950$, respectively, for potato and sunflower. Under wetness condition the values of ϵ_f were similar.

Key words: Thermal emissivity coefficients, potato, sunflower, infrared thermometry.

INTRODUÇÃO

Nos estudos ecológicos e agrometeorológicos, em que se necessita da estimativa dos balanços de radiação e de energia de folhas individuais ou de dosséis vegetativos como um todo, bem como na aplicação dos diferentes métodos de medida da temperatura das folhas individuais ou do cultivo, pelo uso de sensores que medem a radiação de onda longa emitida por estas superfícies naturais, torna-se necessário conhecer o coeficiente de emissividade (ϵ). Nestes procedimentos, aplicam-se as leis físicas de Kirchoff e de Stefan-Boltzmann, que permitem a descrição da interação da radiação de onda longa com estas superfícies.

O ϵ das espécies vegetais situa-se próximo ao ϵ de um corpo negro. Segundo dados de GATES & TANTRAPORN (1952), FUCHS & TANNER (1966), IDSO & JACKSON (1968), IDSO et al (1969), HOYNINGEN-HUENE (1973), GATES (1980) e MONTEITH & UNSWORTH (1990) verifica-se que seu

valor para folhas de plantas cultivadas situa-se na faixa de 0,938 a 0,995. Para a determinação do balanço de radiação de folhas individuais geralmente é adotado o valor de 0,95 (PEDRO Jr. & GILLESPIE, 1982; HELDWEIN, 1993), mas Smith (1983) apud CHEN & ZHANG (1989) considera que devem ser usados valores mais altos. FUCHS & TANNER (1966), demonstraram que a adoção de um coeficiente de emissividade 0,03 maior que o valor real pode levar a erros maiores que 2,0°C na medida da temperatura. Portanto, para que se possa obter uma medida precisa da temperatura das folhas individuais do dossel, torna-se necessário conhecer o valor real do coeficiente de emissividade. Afora isso, supõe-se que a presença de água sobre as folhas, deve modificar a emissividade quando estas não apresentam coeficiente de emissividade igual ao da água de molhamento.

Diferentes métodos para determinar o coeficiente de emissividade de comunidades vegetais ou dosséis vegetativos de monoculturas e de folhas individuais, podem ser encontrados na literatura (GATES e TANTRAPORN, 1952; FUCHS & TANNER, 1966; GAWISH, 1987; CHEN & ZHANG, 1989). Com o aperfeiçoamento da termometria baseada na medida da radiação infravermelha emitida, a metodologia para determinar o coeficiente de emissividade de folhas individuais pode ser simplificada, conforme demonstrou GAWISH (1987).

Este trabalho teve como objetivo determinar o coeficiente de emissividade para radiação de onda longa de folhas individuais de plantas de batata e girassol, sob condições de ausência e presença de molhamento foliar.

MATERIAL E MÉTODOS

A determinação dos coeficientes de emissividade (ϵ) foi realizada em folhas adultas coletadas do terço superior do dossel vegetativo na fase de formação dos botões florais das plantas de batata (*Solanum tuberosum*, L., cv. Granola) e no subperíodo "3 pares de folhas bem desenvolvidas" - "início de floração", das plantas de um dossel de Girassol (*Helianthus annuus*, L., cv. Francassol). As coletas foram feitas ao acaso, pela manhã, após a evaporação do orvalho e levadas ao laboratório com o pecíolo mergulhado em água para evitar o murchamento.

A área destinada às coletas abrangia 0,6 ha, sendo os ensaios realizados nos anos de 1990 (batata) e 1991 (girassol), no Campo Experimental do "Institut für Nutzpflanzenforschung" da Universidade Técnica de Berlin (Lat. = 52° 28' N; Long. = 13° 18' E; Alt. = 51 m).

Para as medidas de temperatura utilizaram-se um termômetro padrão de mercúrio, com precisão de $\pm 0,1^\circ\text{C}$, resolução de $0,01^\circ\text{C}$ e com faixa de medida de $17,0^\circ\text{C}$ a $26,5^\circ\text{C}$ e um termômetro infravermelho com precisão de $\pm 0,5^\circ\text{C}$, resolução de $0,1^\circ\text{C}$ e faixa de medida de $10,0$ à $50,0^\circ\text{C}$, o qual estava calibrado

para medir a temperatura de superfícies com coeficiente de emissividade fixo de 0,950.

As determinações foram feitas sob condições de laboratório, segundo o método descrito por GAWISH (1987), adaptado por HELDWEIN (1993), no qual assumiu-se que a temperatura de uma folha (T_f) é igual à da água (T_{wa}) em constante movimento, quando a folha flutua sobre a mesma. Para tanto, utilizou-se um frasco cilíndrico de vidro ($\phi = 20\text{cm}$; altura = 35cm), colocado sobre um agitador magnético controlável, o qual foi enchido com água destilada no dia anterior às determinações, para entrar em equilíbrio térmico e radiativo com o ambiente da sala onde foram realizadas as medidas. Sobre a face externa do frasco de vidro foi fixada uma película adesiva de cor preta, de elevada condutividade térmica e ϵ igual a 0,950. Este adesivo serviu como padrão para as medidas de temperatura de referência com o termômetro infravermelho, uma vez que seu coeficiente de emissividade era conhecido. Uma segunda medida de temperatura de referência com termômetro infravermelho foi feita num adesivo igual fixado sobre uma folha de cobre (dimensões de 3,0 x 5,5 x 0,05 cm), cuja face inferior foi mantida inteiramente em contato com a superfície livre da água. Para o controle da temperatura da água foi utilizado o termômetro padrão de mercúrio, cujo bulbo ficou instalado 1 a 3 cm abaixo da folha. Considerando que o vidro, a folha de cobre e o filme adesivo apresentam boa condutividade térmica e pequena espessura, assumiu-se que não havia diferença de temperatura entre a superfície dos dois adesivos e da água.

Durante as determinações, a folha flutuava sobre a superfície da água, fazendo-se alternadamente leituras da temperatura da folha e do adesivo de referência com o termômetro infravermelho e simultaneamente da água com o termômetro padrão de mercúrio. Para a leitura da temperatura da folha o sensor do termômetro infravermelho foi fixado num suporte, mantendo um ângulo reto com a superfície da água ($\approx 90^\circ$ com a superfície foliar). Para evitar interferência do agitador magnético no termômetro infravermelho, o mesmo era desligado imediatamente antes de cada leitura. Para a medida na condição de molhamento a folha foi submergida verticalmente na água e, quando trazida para a superfície, conferia-se o molhamento da mesma imediatamente antes da leitura. Para a medida na condição de ausência de molhamento, a folha era simplesmente colocada sobre a superfície da água, evitando molhar sua face superior e retirando eventuais bolhas de ar presas na sua face inferior com a agitação da água. A variação da temperatura da água durante o período das determinações foi sempre menor do que $0,12^\circ\text{C}$ em 30 minutos.

Com base na lei de Stefan-Boltzmann, a densidade de fluxo de energia de onda longa emitida pela folha (L_f) e pelos adesivos (L_r) na direção do sensor do termômetro infravermelho pode ser calculada por,

$$L_f = \epsilon_f \cdot \sigma \cdot (T_f + 273,15)^4 \quad (1)$$

$$L_r = \epsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_r + 273,15)^4 , \quad (2)$$

respectivamente, onde σ é a constante de Stefan-Boltzmann, T_f é a temperatura da folha ($^{\circ}\text{C}$) e T_r é a temperatura da superfície de referência (adesivo) ($^{\circ}\text{C}$). Considerando que $T_f = T_{wa} = T_r$, os valores de L_f e L_r serão iguais entre si apenas no caso do coeficiente de emissividade da folha (ϵ_f) ser igual ao (ϵ_r). Para essa condição,

$$\epsilon_f \cdot \sigma \cdot (T_f + 273,15)^4 = \epsilon_r \cdot \sigma \cdot (T_r + 273,15)^4 \quad (3)$$

Sabendo que o termômetro infravermelho estava calibrado para medir a temperatura de superfícies com um coeficiente de emissividade igual a 0,950, o valor da temperatura da água medido sobre a superfície de referência ($\epsilon_r = 0,950$) é o valor real, o que no método é conferido com medidas simultâneas da temperatura da água com um termômetro padrão de mercúrio. Substituindo ϵ_r pelo seu valor na equação (3) e simplificando, resulta:

$$\epsilon_f (T_f + 273,15)^4 = 0,95 (T_r + 273,15)^4 \quad (4)$$

Entretanto, quando o valor de T_f medido com termômetro infravermelho difere do valor medido de T_r ou T_{wa} , esta diferença do valor real deve-se a uma diferença proporcional, nos termos da equação (4), do valor de ϵ_f de ϵ_r , uma vez que para as condições experimentais, T_f não difere de T_r e de T_{wa} . Uma vez que o valor de ϵ_r é conhecido e o erro de medida de T_f é no mesmo sentido da variação de ϵ_f em relação a ϵ_r , deve-se inverter os termos de emissividade na equação (4), para obter o valor real de ϵ_f (DAUNICHT³, 1990 - comunicação pessoal):

$$\epsilon_f = 0,95 (T_f + 273,15)^4 (T_r + 273,15)^{-4} \quad (5)$$

onde, T_f é o valor medido da temperatura da folha em $^{\circ}\text{C}$ (face superior) e T_r a temperatura da superfície de referência em $^{\circ}\text{C}$, medida com termômetro infravermelho sobre o adesivo preto. Quando o cálculo foi realizado com base na T_{wa} medida com termômetro infravermelho, utilizou-se o valor médio dos dois valores medidos sobre a folha de cobre e sobre a face lateral do vidro. Quando o cálculo foi realizado com base na temperatura da água medida com termômetro de mercúrio, utilizou-se este valor de T_{wa} em substituição a T_r na equação (5).

A análise estatística constou do cálculo da média e do desvio padrão dos valores de emissividade obtidos nas condições de superfície foliar seca e molhada, respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os desvios dos valores de temperatura da água medidos com termômetro infravermelho sobre a folha de cobre daqueles medidos sobre a face lateral do vidro mativeram-se praticamente na faixa de resolução do termômetro infravermelho. Por essa razão adotou-se a média dos dois valores de T_r medidos com termômetro infravermelho, mesmo porque os valores médios de ϵ_f , quando calculados separadamente para os dois valores, foram idênticos.

Na Tabela 1 são apresentados o valor médio e o respectivo desvio padrão do coeficiente de emissividade de folhas individuais de batata e girassol, quando a sua superfície estava seca e quando coberta com um filme de água, respectivamente. Para a batata o valor médio do coeficiente de emissividade foi de 0,954, quando a temperatura da água foi medida com termômetro infravermelho e a superfície da folha estava seca. Na outra situação extrema, isto é, quando medida com termômetro de mercúrio e a superfície da folha estava molhada foi de 0,957. Para girassol ele variou de 0,950 à 0,952, nas mesmas condições. Visto que a diferença do valor médio do ϵ_f quando calculado a partir das duas formas de medida da temperatura da água, foi pequena (0,002), similar ao desvio padrão, pode-se, para fins de aplicação prática, aceitar os dois valores, ou mesmo a sua interpolação. Sugere-se, no entanto, que se adote o valor obtido a partir de medidas com o termômetro infravermelho, também utilizado para medir a temperatura da folha.

Tabela 1 - Coeficientes de emissividade das folhas de batata (cv. Granola) e girassol (cv. Francassol) com superfície seca e molhada. Berlin, 1990 e 1991.

Temperatura de referência (água)		Superfície seca		Superfície molhada	
		batata	girassol	batata	girassol
Termômetro infravermelho	n	135	100	32	19
	X	0,954	0,950	0,955	0,951
	s	0,003	0,001	0,004	0,004
Termômetro padrão de mercúrio	n	135	100	32	19
	X	0,956	0,952	0,957	0,952
	s	0,002	0,003	0,002	0,002

n = número de determinações; X = média; s = desvio padrão

³ Prof. Dr. H.-J. Daunicht, "Institut für gärtnerischen Pflanzenbau" - Universidade Humboldt de Berlin.

O valor do desvio padrão foi baixo para todas as condições, estando na mesma ordem de grandeza daqueles obtidos por FUCHS & TANNER, (1966) e CHEN & ZHANG (1989). Quando as observações foram repetidas sobre a mesma amostra, os valores de desvio padrão mostraram-se semelhantes, o que permite inferir que nem toda a variabilidade dos valores medidos resultou da variabilidade entre as amostras.

Um pequeno aumento do valor do coeficiente de emissividade das superfícies das folhas na condição de molhamento, esperado devido ao maior ϵ da água, não pôde ser constatado. Duas causas podem ter contribuído para isso: o filme de água sobre a folha foi muito fino para interferir no coeficiente de emissividade e/ou o efeito do filme de água foi compensado por leve evaporação. Ressalta-se que, em função das condições experimentais, a diferença de temperatura entre a água e o ar no laboratório foi muito pequena, a bordadura de água foi bem maior que a área da folha e os movimentos convectivos sobre as superfícies da folha e da água não deveriam ter sido significativos, assim que é de se esperar que a evaporação da superfície molhada da folha tenha sido mínima. Assumindo-se que uma folha flutuando sobre água em movimento apresente uma condutividade térmica relativamente boa, ao ponto de compensar rapidamente as perdas de energia por evaporação, pode-se esperar que, se a segunda causa foi dominante, o erro na determinação do coeficiente de emissividade praticamente é insignificante. De qualquer forma ele seria menor que o erro instrumental.

AGRADECIMENTO

O autor agradece ao Professor Dr. H.-J. Daunicht, do "Institut für gärtnerischen Pflanzenbau", da Universidade Humboldt, Berlin, pelo empréstimo do termômetro infravermelho e pelas sugestões.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHEN, J. M., ZHANG, R. H. Studies on measurements of crop emissivity and sky temperature. **Agricultural and Forest Meteorology**, Amsterdam, v. 49, p. 23-34, 1989.
- FUCHS, M., TANNER, C. B. Infrared thermometry of vegetation. **Agronomy Journal**, Madison, v. 58, p. 597-601, 1966.
- GATES, D. M. **Ecological biophysics**. New York: Springer, 1980. 611p.

- GATES, D. M., TANTRAPORN, W. The reflectivity of deciduous trees and herbaceous plants in the infra-red to 25 microns. **Science**, Washington, v. 115, p. 613-615, 1952.
- GAWISH, R. A. -R. **Wirkungen von Antitranspirantien auf Taropflanzen (*Colocasia esculenta*, L.) unter nichtsalinen und salinen Bedingungen**. Berlin, 1987. 146p. Dissertação (Doctor Scientiarum Agrariarum) - Fachbereich Internationale Entwicklung, TU-Berlin, 1987.
- HELDWEIN, A. B. **Ermittlung der Taubenetzung von Pflanzenbeständen durch Anwendung mikrometeo-rologischer Verfahren sowie mittels konventioneller Methoden**. Berlin, 1993. 206p. Dissertação (Doctor Scientiarum Agrariarum) - Fachbereich Internatio-nale Agrarentwicklung, TU-Berlin, 1993.
- HOYNINGEN-HUENE, J. F. von. Erfahrung mit der Anwendung der Infrarotthermometrie bei agrarmeteorologischen Untersuchungen. **Landbauforschung Völkenrode**, Braunschweig, v. 23, p. 83-89, 1973.
- IDSO, S. B., JACKSON, R. D. The significance of fluctuatio in sky radiant emittance for infrared thermometry. **Agronomy Journal**, Madison, v. 60, p.388-392, 1968.
- IDSO, S. B., JACKSON, R. D., EHLER, W. L., et al. A method for determination of infrared emittance of leaves. **Ecology**, New York, v. 50, p. 899-902, 1969.
- MONTEITH, J. L., UNSWORTH, M. H. **Principles of Environment Physics**. 2^a Ed. Londres: Edward Arnold, 1990. 291p.
- PEDRO Jr., M. J., GILLESPIE, T. J. Estimating dew duration. I. Utilizing micrometeorological data. **Agricultural Meteorology**, Amsterdam, v. 25, p. 283-296, 1982.