

## CALIBRAÇÃO DE UM LISÍMETRO DE PESAGEM PARA MEDIR A EVAPOTRANSPIRAÇÃO DE REFERÊNCIA

Daniel Gonçalves Gomes Jr<sup>1</sup>, Alexandre Dal Pai<sup>2</sup>, Enzo Dal Pai<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Doutorando, Irrigação e Drenagem, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP.  
e-mail: daniel.g.g.jr@gmail.com

<sup>2</sup>Professor. Doutor, Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP.

### RESUMO

Atualmente os lisímetros de pesagem são dispositivos que conseguem mensurar com grande precisão a evapotranspiração de um determinado ambiente. Na Faculdade de Ciências Agrônômicas da Unesp Câmpus de Botucatu-SP a construção deste equipamento é algo muito recente (ano 2016 e 2017) sendo que a metodologia atual de calibração indicada pela literatura é o método de pares de entrada-saída de medidas de variação de peso pelas células de carga no sistema. O objetivo deste trabalho é mostrar como funciona este método de calibração e comparar sua viabilidade com a literatura citada. Como resultados iniciais, foram obtidos seis gráficos representativos das curvas de regressão linear dos pares de entrada e saída de massa no sistema, com valores de coeficientes de determinação ( $R^2$ ) que variaram entre 0,99 a 1. Em função destes mesmos dados é que foi obtida a equação de regressão linear inserida no microprocessador da qual é capaz de converter a leitura em milivoltagem para a escala milimétrica. Perante os valores obtidos neste experimento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear, comprova-se que a metodologia utilizada é a que mais bem se aplica a leitura das células de carga para o tipo de experimento em questão.

**Palavras-chave:** Evapotranspiração de referência, lisimetria de pesagem, requerimento hídrico.

### ABSTRACT

#### CALIBRATION OF A WEIGHT LISIMETER TO MEASURE REFERENCE EVAPOTRANSPIRATION

Nowadays, weighing lysimeters are devices that can accurately measure the evapotranspiration from a given environment. In the University of Agronomic Sciences from UNESP, present at the city of Botucatu-SP, the construction of this equipment is very recent (year 2016 and 2017), and the current calibration methodology indicated in the literature is based at the input-output pairs of weight indicating the load cells system measurements variation. The main objective of this work is to show how this calibration methodology works and compare its viability with the mentioned literature. As initial results, six graphs representing the linear regression curves of the input and output pairs in the system were obtained, with values of determination coefficients ( $R^2$ ) ranging from 0.99 to 1. As a function from these data, we obtained the linear regression equation inserted in the microprocessor from which it is able to convert the millivoltage readings in to the millimetric scale of water. Considering the values obtained in this experiment from the determination coefficients ( $R^2$ ) of the linear regression, it has been proven that the methodology presented is the one that best fits the load cells readings for this type of experiment.

**Keywords:** Water requirement, weighing lysimetry, reference evapotranspiration.

## 1 INTRODUÇÃO

Nos cálculos de dimensionamento em um sistema de irrigação de uma dada localidade, o uso de dados precisos de evapotranspiração de referência é de suma importância no projeto agrônomo.

Sabe-se que quando se trabalha com um determinado tipo de atributo que represente um determinado fenômeno natural, o maior grau de confiabilidade se dá quando é possível de se efetuar sua medida.

Atualmente os lisímetros de pesagem são dispositivos que conseguem mensurar com grande precisão a evapotranspiração de um determinado ambiente.

O lisímetro de pesagem é muito útil por medir de forma acurada a evapotranspiração de referência de uma dada localidade principalmente devido ao uso de sensores eletrônicos que garantem medidas em curta escala de tempo.

Hoje em dia, a medida deste equipamento é feita de forma automatizada com um sistema eletrônico dependente de um microprocessador (*datalogger*) ligado a sensores de pesagem, as células de carga que ficam instaladas sob uma caixa impermeável, medindo a variação de peso (seu principal princípio).

São equipamentos que servem como metodologia padrão para a calibração e validação de modelos de estimativas da evapotranspiração de referência de uma dada localidade. (DASTANE, 1976; ABOUKHALED et al. 1982; CARVALHO et al. 2013)

No campo, em condições reais de cultivo, a quantidade de água evapotranspirada é obtida por meio do balanço entre a água que entrou no sistema (SENTELHAS et al., 2007), seja por precipitação ou por irrigação e a água que saiu, através da evaporação, transpiração e também drenagem profunda.

Na Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp Câmpus de Botucatu, diversos estudos já foram realizados com a estimativa de evapotranspiração de referência, porém quando se trata da medida obtida pela lisimetria de pesagem isso ainda é algo muito recente, já que a construção deste equipamento na instituição é algo recente (ano 2017).

A metodologia padrão de calibração deste equipamento indicada pela literatura parte do princípio de variação de massa no sistema, que seria o método de pares de entrada-saída de medidas de variação de peso pelas células de carga no sistema. (JIA et al. 2006; CAMPECHE et al. 2011; CARVALHO et al. 2013; SCHMIDT et al. 2013)

O objetivo deste trabalho é mostrar como funciona este método de calibração e comparar sua viabilidade com a literatura citada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

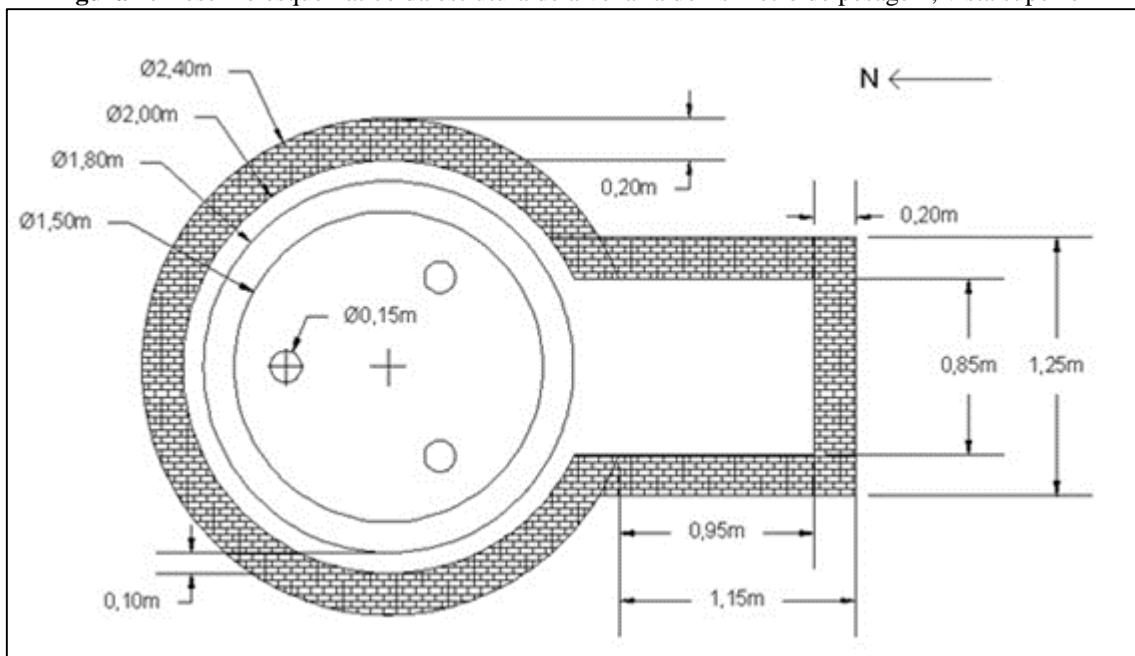
O experimento foi realizado na Estação Evapotranspirométrica do Departamento de Engenharia de Bioprocessos da Faculdade de Ciências Agrônômicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” presente na cidade de Botucatu-SP (22°50’ S; 48°25’ W e altitude média de 786 m).

Esta estação está presente em uma área com largura de 15 m e comprimento de 25 m (área aproximada de 375 m<sup>2</sup>) e possui sua superfície vegetada coberta por grama Batatais (*Paspalum notatum*) espécie vegetal que também está presente dentro do tanque do lisímetro. O solo é classificado como latossolo roxo distrófico, sua textura é franca argilo-arenosa, e o terreno apresenta uma declividade de 2%.

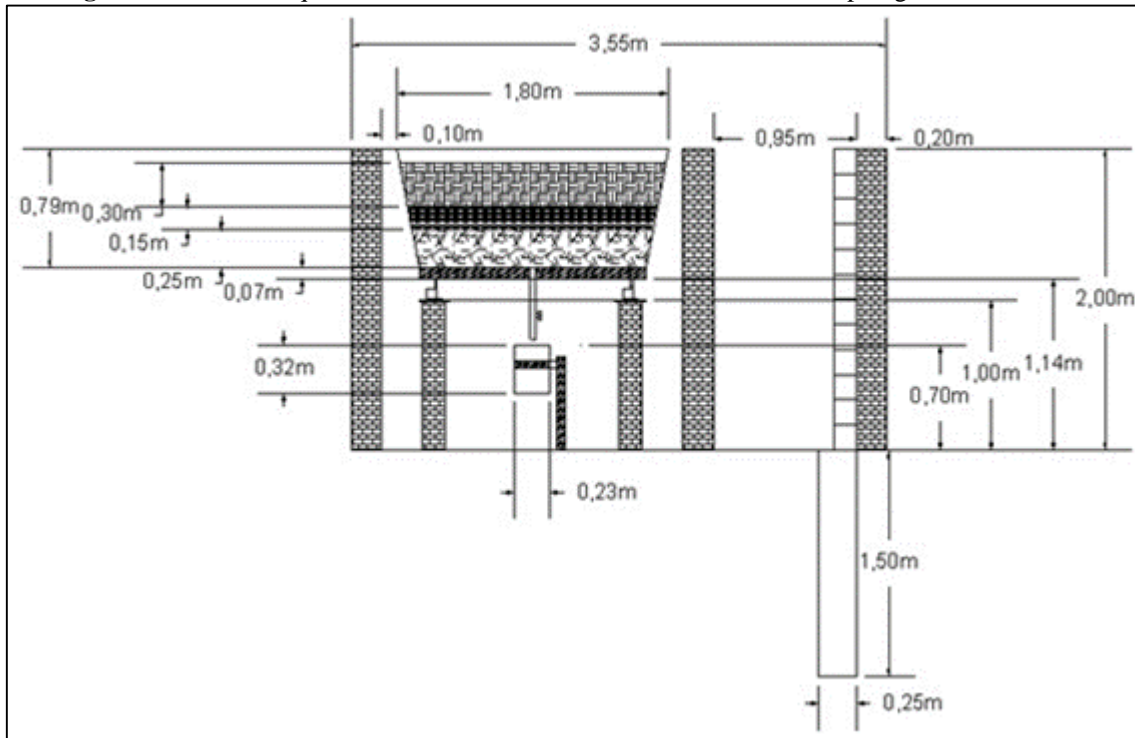
Quanto ao clima desta localidade, este é temperado quente (mesotérmico), com verão quente e úmido e inverno seco. (J. F. ESCOBEDO et al., 2009; J. F. ESCOBEDO et al., 2011)

A planta baixa do equipamento será aqui apresentada nas figuras 1 e 2. como forma de ilustrar de forma adequada aquilo que quer ser apresentado:

**Figura 1:** Desenho esquemático da estrutura de alvenaria do lisímetro de pesagem, vista superior



**Figura 2:** Desenho esquemático da estrutura de alvenaria do lisímetro de pesagem, vista frontal



O lisímetro de pesagem possui um tanque com capacidade volumétrica de 1,5 m<sup>3</sup>, sua área evaporativa aproximada é de 2 m<sup>2</sup>. A profundidade efetiva do sistema radicular da cultura foi projetada para uma profundidade máxima de 0,5 m e a capacidade de água disponível no sistema é de 90 mm.

Este equipamento, composto de uma seção circular, possui um sistema de pesagem com três células de carga da marca Samel L-2T com intervalo de sensibilidade de 2 mV/V ± 0,1%. Em sua composição há também dois pluviômetros eletrônicos da empresa *Texas Electronics*<sup>®</sup> modelo TR-525M. Um utilizado para a medida da precipitação e outro inserido abaixo do tanque para obter a medida do volume drenado. A aquisição de dados foi feita pelo uso de um *datalogger* modelo 21-X da empresa *Campbell Scientific*<sup>®</sup>.

Como já mencionado, para sua calibração, foi utilizado o procedimento do método de pares de entrada-saída de medidas de variação de peso pelas células de carga no sistema. Que consiste no uso de “massas-padrão” são sacos de rafia com brita nº1 em seu interior pesados em balança eletrônica.

A calibração foi feita em função da capacidade total de água no solo (CTA ou CAD) calculada e ajustada a 74 mm (o intervalo hídrico ótimo para o solo do experimento é de 74 a 90 mm, aproximadamente).

Ao todo foram utilizados 20 sacos ordenados do seguinte modo, em escala crescente de massa: 2 x 1 kg; 2 x 2kg; 2 x 4kg; 10 x 7,4 kg; 2 x 10 kg; 2 x 20 kg.

Em milímetros equivalem a: 2 x 0,5 mm; 2 x 1 mm; 2 x 2mm; 10 x 3,7 mm; 2 x 5 mm; 2 x 10mm.

Uma vez determinadas as “massas-padrão”, foi ajustada a programação do *datalogger* e estabelecido o intervalo de leitura para cinco segundos. Lonas foram colocadas na superfície do solo para evitar a evaporação de água e garantir estabilidade da leitura. Anotado em escala de milivoltagem o ponto zero (tara) da leitura do sistema deu-se início à calibração.

Os sacos foram adicionados, um a um em escala crescente de massa, sobre a superfície do solo, com um intervalo de 15 a 20 segundos entre a adição de um com relação ao outro, as anotações em milivoltagem foram feitas concomitantemente.

Uma vez inserida toda a massa no sistema os sacos foram retirados também um a um em escala decrescente de massa até voltar ao marco zero de leitura do sistema.

Estas medidas foram tomadas a fim de evitar variações bruscas de leitura e garantir maior precisão. Foram feitas três repetições e 60 valores de pares de entrada e saída foram anotados para a confecção da curva de calibração do equipamento.

Após este procedimento a grama foi colocada no tanque. Houve a necessidade de adicionar uma pequena camada de solo para nivelar a grama dentro do mesmo.

Feito este procedimento a leitura em milivoltagem do *datalogger* foi anotada para se ter o conhecimento da massa de grama colocada no tanque em relação à massa total previamente anotada. Isto foi de suma importância, pois, entrou como fator de ajuste aos valores obtidos na fase de calibração.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

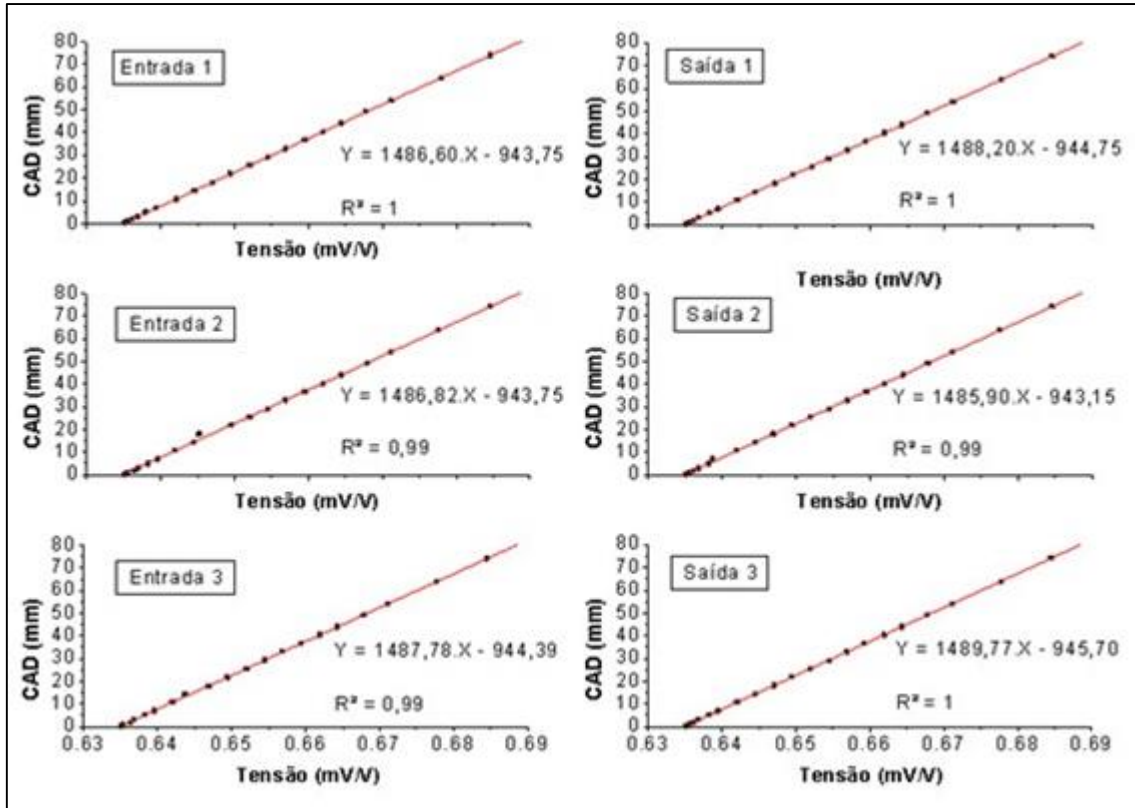
A tabela dos valores ajustados de calibração será exibida a seguir. É de extrema importância que ela seja apresentada, pois, em função dos valores de leitura de variação de massa descritos é que foi possível de se fazer a regressão linear, e com isso, encontrar a equação de ajuste a ser inserida na programação do *datalogger* para se obter a medida correta de evapotranspiração pelo equipamento.

**Tabela 1:** Calibração do lisímetro de pesagem, pares de entrada e saída

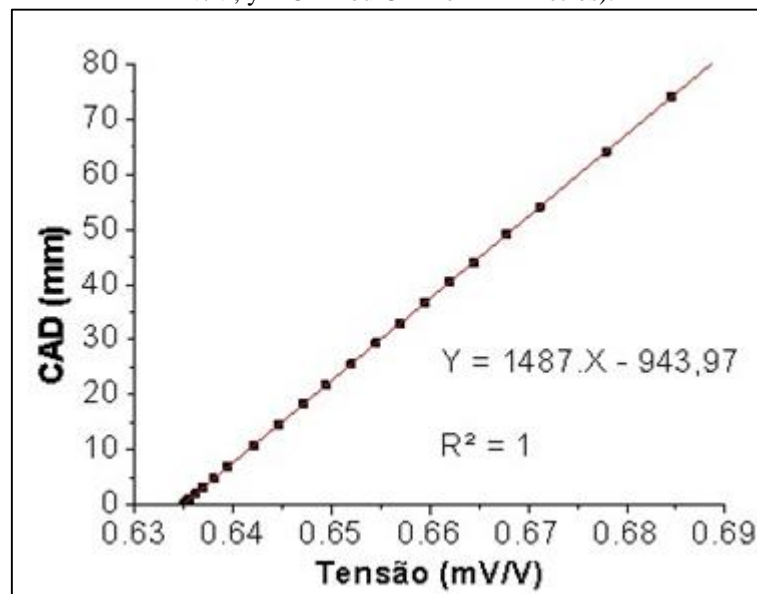
n	milímetro		1ª Repetição		2ª Repetição		3ª Repetição	
	mm	$\Sigma$ mm	Entrada	Saída	Entrada	Saída	Entrada	Saída
	0	0	0,6350	0,6350	0,6350	0,6350	0,6350	0,6350
1	0,5	0,5	0,6352	0,6352	0,6351	0,6352	0,6352	0,6351
2	0,5	1	0,6355	0,6355	0,6355	0,6355	0,6353	0,6355
3	1	2	0,6362	0,6361	0,6363	0,6361	0,6363	0,6360
4	1	3	0,6369	0,6368	0,6369	0,6368	0,6368	0,6367
5	2	5	0,6380	0,6382	0,6383	0,6381	0,6382	0,6382
6	2	7	0,6394	0,6394	0,6396	0,6387	0,6395	0,6395
7	3,7	10,7	0,6421	0,6420	0,6419	0,6419	0,6420	0,6420
8	3,7	14,4	0,6446	0,6444	0,6445	0,6444	0,6437	0,6444
9	3,7	18,1	0,6471	0,6471	0,6452	0,6469	0,6469	0,6470
10	3,7	21,8	0,6494	0,6495	0,6495	0,6494	0,6494	0,6494
11	3,7	25,5	0,6520	0,6521	0,6520	0,6519	0,6520	0,6519
12	3,7	29,2	0,6545	0,6544	0,6545	0,6545	0,6545	0,6545
13	3,7	32,9	0,6569	0,6569	0,6569	0,6569	0,6568	0,6569
14	3,7	36,6	0,6595	0,6594	0,6595	0,6595	0,6593	0,6592
15	3,7	40,3	0,6620	0,6619	0,6619	0,6619	0,6619	0,6619
16	3,7	44	0,6644	0,6643	0,6644	0,6644	0,6643	0,6643
17	5	49	0,6678	0,6677	0,6679	0,6678	0,6678	0,6677
18	5	54	0,6712	0,6712	0,6711	0,6711	0,6711	0,6711
19	10	64	0,6779	0,6778	0,6776	0,6775	0,6778	0,6777
20	10	74	0,6846	0,6846	0,6846	0,6846	0,6845	0,6845

Os gráficos realizados com os pares de entrada e saída de leitura de milivoltagem das células são apresentados na figura 3:

**Figura 3:** Relação entre a variação das lâminas de água (relativa a capacidade total de água – CTA ou CAD; mm) e tensão (mV/V) emitida pelas células de carga, o termo “entrada” é referente ao carregamento e o termo “saída” se refere ao descarregamento do sistema.



**Figura 4:** Regressão linear e equação ajustada utilizada na programação do *datalogger* (x = tensão em mV/V; y = CTA ou CAD em milímetros).



Perante os valores obtidos neste experimento do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) da regressão linear, comprova-se que a metodologia utilizada é a que mais bem se aplica a leitura das células de carga para o tipo de experimento em questão.

## 4 CONCLUSÕES

Estes resultados apresentados de resposta da sensibilidade da leitura do sistema são indicativos da eficácia da metodologia utilizada, pois eram resultados esperados desde o início do projeto como um todo. Como exemplo de medida, o valor de 3,2 mm/dia, para uma semana de medida em condições ideais também é um bom indicativo da qualidade de leitura do equipamento, pois, já é equiparável a modelos clássico de estimativa que muitas vezes são exigentes de dados meteorológicos em larga escala temporal para a obtenção de resultados representativos.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABOUKHALED, A.; ALFARO A.; SMITH, M. L. Lysimeters. Rome: FAO, 1982. 68p. (FAO Irrigation and Drainage Paper, 39).

CAMPECHE, L. F. M. S.; AGUIAR NETTO, A. O.; SOUSA, I. F.; FACCIOLI, G. G.; SILVA, V. P. R.; AZEVEDO, P. V. Lisímetro de pesagem de grande porte. Parte I: Desenvolvimento e calibração. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.15, n.5, p.519-525, 2011.

CARVALHO, H. P. de.; MELO, B. de.; ATARASSI, R. T.; CAMARGO, R. de.; SILVA, da. C. R.; MORAES, M. R. B. Desenvolvimento de lisímetros de pesagem na cultura do café. Biosci. J., Uberlândia, v.29, n.6, p. 1750-1760, 2013.

DASTANE, N. G. Effective rainfall in irrigated agriculture. FAO – Irrigation and drainage paper, 1976.

JIA, X.; DUKES, M. D.; JACOBS, J. M.; IRMAK, S. Weighing Lysimeters for Evapotranspiration Research in a Humid Environment. American Society of Agricultural and Biological Engineers, vol. 49(2), pp. 12, 2006.

SCHMIDT, C. D. S.; PEREIRA, F. A. C. de.; OLIVEIRA, A. S. de.; GOMES JÚNIOR, J. F.; VELLAME, L. M. Design, installation, and calibration of a weighing lysimeter for crop evapotranspiration studies. Water resources and Irrigation Management, v.2, n.2, p.77-85, 2013.

SENTELHAS, P. C.; ANGELOCCI, L. R.; PEREIRA, A. R. Meteorologia Agrícola. Universidade de São Paulo – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Dpto. Ciências Exatas, Piracicaba-SP, 2007.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. Renewable Energy, vol. 36, pp. 169-178, 2011.

ESCOBEDO, J. F.; GOMES, E. N.; OLIVEIRA, A. P.; SOARES, J. Modeling hourly and daily fractions of UV, PAR and NIR to global solar radiation under various sky conditions at Botucatu, Brazil. Applied Energy, vol. 86, pp. 299-309, 2009.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pela bolsa de estudos concedida. E a todo apoio e suporte institucional concedido pela Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu-SP.