

ANÁLISES DE ERROS NA DETERMINAÇÃO DIRETA DA EVAPOTRANSPIRAÇÃO DO CACAUEIRO JOVEM ATRIBUÍDOS AO SISTEMA DE MEDIÇÃO

Gerlange Soares da Silva¹; Alex Santana do Rosário²; Rodrigo Almeida Santana³; Francisco Adriano de Carvalho Pereira⁴; Thaís Nascimento Meneses⁵; Oswaldo Palma Lopes Sobrinho⁶; Jucicléia Soares da Silva⁷; Álvaro Itaúna Schalcher Pereira⁸

¹ Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Rua Rui Barbosa, 710, Campus Universitário, Cruz das Almas – BA. CEP 44380-000. Fone (75) 99263-3711. E-mail: gerlangesoares@hotmail.com

² Graduando em Gestão de Cooperativismo, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas – BA, Brasil.

³ Graduando em Agronomia, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas – BA, Brasil.

⁴ Professor Titular, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas – BA, Brasil.

⁵ Doutora em Engenharia Agrícola, Universidade Federal do Recôncavo da Bahia (UFRB), Cruz das Almas – BA, Brasil.

⁶ Engenheiro Agrônomo pelo IFMA/Campus Codó. Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Ciências Agrárias – Agronomia pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano (IF Goiano), Rio Verde – GO, Brasil.

⁷ Pós-Doutoranda da Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA Semiárido, Petrolina – PE, Brasil.

⁸ Departamento de Ensino, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão (IFMA), Codó – MA, Brasil.

RESUMO

Objetivou-se avaliar os erros atribuídos ao sistema de medidas, após a calibração de seu conjunto lisimétrico sustentado por 4 células de cargas e verificar a adequação do mesmo na determinação direta da evapotranspiração de plantas jovens de cacau *Theobroma cacao* L. cultivada a pleno sol no Recôncavo Sul da Bahia. Os erros foram calculados após a calibração do lisímetro realizada com a adição e retirada de massa conhecidas. Foram utilizados pesos de 0.05, 0.1, 0.144, 0.2, 0.250, 0.3, 0.4, 0.5, 0.720, 1.44, 2.88, 5.0, 10.0, 20.0 kg. Sendo preparados três sacos para cada peso com exceção ao de 2.88 kg correspondendo a dois sacos, todos pesados em balança eletrônica de precisão e posteriormente vedados. A adição e retirada dessas massas ocorreram em intervalos de 2 minutos, cujos sinais elétricos gerados correspondentes a cada adição/retirada das massas eram anotados. O processo foi repetido 5 vezes, formando 5 ciclos de medições. Com os dados gerou-se a curva de calibração dos sistemas e seus erros de medidas calculados. Observou-se elevado coeficiente de determinação de 1,0000 para a curva de calibração do conjunto lisimétrico, revelando uma excelente linearidade dos dados e erros mínimos que não influenciaram significativamente as medidas da evapotranspiração da cultura do cacau. O lisímetro de pesagem em uso com uma planta de cacau está apto para realizar medidas diretas da evapotranspiração.

Palavras-chave: Calibração, medidas lisimétricas, *Theobroma cacao* L.

ANALYSIS OF ERRORS IN DIRECT DETERMINATION OF YOUNG COCOA EVAPOTRANSPIRATION ATTRIBUTED TO THE MEASUREMENT SYSTEM

ABSTRACT

The objective of this study was to evaluate the errors attributed to the measurement system after the calibration of its lysimeter set supported by 4 cells of loads and to verify its suitability in the direct determination of the evapotranspiration of young plants of *Theobroma cacao* L. cultivated in full sun at Southern Recôncavo of Bahia. The errors were calculated after calibration of the lysimeter performed with the addition and removal of known mass. Weights of 0.05, 0.1, 0.144, 0.2, 0.250, 0.3, 0.4, 0.5, 0.720, 1.44, 2.88, 5.0, 10.0, 20.0 kg were used. Three bags for each weight are prepared, except for the one of 2.88 kg corresponding to two bags, all weighed in precision electronic scale and later sealed. The addition and removal of these masses occurred at intervals of 2 minutes, whose electrical signals generated corresponding to each addition / withdrawal of the masses were noted. The process was repeated 5 times, forming 5 cycles of measurements. With the data, the calibration curve of the systems and their calculated measurement errors were generated. A high coefficient of determination of 1.0000 was observed for the calibration curve of the lysimeter set, revealing an excellent data linearity and minimum errors that did not significantly influence the measures of evapotranspiration of the cocoa crop. The weighing lysimeter in use with a cocoa plant is suitable for direct measurements of evapotranspiration.

KEYWORDS: Calibration, lysimeter measurements, *Theobroma cacao* L.

INTRODUÇÃO

A lisimetria é uma técnica que vem sendo utilizada com frequência nas pesquisas que buscam informações a respeito do consumo hídrico das culturas agrícolas. Sendo uma das mais adequadas para determinar os coeficientes de cultivos ao longo de todo o ciclo da cultura, a exemplo do cacau, cujas informações sobre sua demanda hídrica são escassas. Sendo necessárias, principalmente quando se deseja trabalhar com cultivos irrigados, que quando manejado de forma eficiente, aumenta a produtividade, além de melhorar a qualidade dos frutos.

A lisimetria tem sido uma técnica aplicada não só para o manejo da irrigação como também nos estudos hidrológicos e micrometeorológicos. Sendo vários os tipos, tamanho, materiais e até mesmo formas de lisímetros reportados na literatura (CAMPECHE et al., 2011; REICHARDT; TIMM, 2012; NASCIMENTO et al., 2011). Porém, na utilização desta e de qualquer outra técnica deve-se primeiramente realizar uma análise crítica principalmente dos mecanismos de pesagem a fim de se conhecer e quantificar os erros de medidas atribuídos ao método, para que as medidas de evapotranspiração sejam realizadas com confiabilidade (NASCIMENTO et al., 2016).

Após a realização dos erros atribuídos ao sistema de medidas, também é de suma importância uma análise de funcionamento do conjunto lisímetros que só será possível com a

realização de sua calibração em campo que ocorre relacionando os sinais elétricos de saída em mV gerados com as deformações das células de cargas e a massa do sistema.

Por tanto no processo de calibração dos conjuntos lisímetros, é extremamente necessários avaliar os erros de medidas que de acordo com Nascimento et al. (2016) podem está relacionados às células de cargas, aos cabos, ao sistema de coleta de dados e a própria estrutura a ser pesada.

Esta etapa é primordial para determinar a demanda hídrica de uma cultura, podendo ser realizada antes e durante o uso dos lisímetros garantindo assim a qualidade dos dados gerados em intervalos de tempo menores. Além disso, é através dos testes feitos no processo de calibração que possibilitará conhecer melhor o desempenho do conjunto lisimétrico, útil na tomada de decisões a respeito dos dados que devem ou não ser utilizados na determinação da evapotranspiração da cultura.

Diante do exposto, o estudo teve por objetivo avaliar os erros atribuídos ao sistema de medidas, após a calibração de seu conjunto lisimétrico sustentado por 4 células de cargas e verificar a adequação do mesmo na determinação direta da evapotranspiração de plantas jovens de cacau cultivada a pleno sol no Recôncavo Sul da Bahia.

MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi conduzido na área experimental da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia, no município de Cruz das Almas que está situado entre os paralelos 12° 39' 19,12'' de latitude Sul e 39° 05' 11,91'' de longitude Leste, com altitude média de 213 m.

O clima da região segundo a classificação de Köppen é do tipo Am, tropical quente úmido, cujo os meses mais secos são os de setembro a março com o período de maior concentração das chuvas de abril a agosto (OMETTO, 1981). A pluviosidade média anual é de 1.136 mm, umidade relativa do ar de 78 %, temperatura média anual é em torno de 24,5 °C e velocidade do vento 3,1 m s⁻¹. A área tem um total de 4.868,9 m² formado por um pomar de 530 plantas de cacau, o genótipo CCN 51, cultivadas a pleno solo, em que uma delas foi cultivada em um lisímetro de pesagem instalado no centro da área (Figura 1).

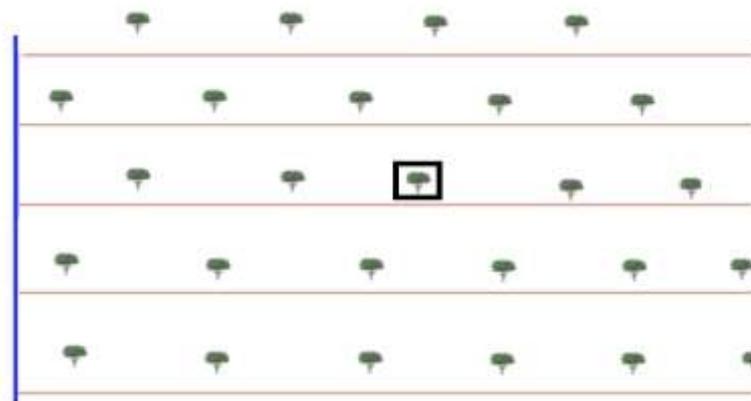


Figura 1. Croqui da área experimental.

O estudo consistiu-se da calibração de um lisímetro de pesagem instalado no centro da área. Sendo composto por uma caçamba metálica em aço carbono, com dimensões de 1,20 x 1,20 x 1,20 m, totalizando uma área de 1,44 m² de superfície. O mesmo é por quatro células de cargas com capacidade nominal de 1000 Kg cada, ligadas a um sistema automático para aquisição dos dados instalado na área experimental. Sendo este um o Datalogger (*CR1000, Campbell Sci*), programado para efetuar leituras a cada 1 segundo e armazenamento das médias a cada 15 minutos, sendo os dados posteriormente coletados e transferidos para um computador.

Para garantir que o dispositivo meça com precisão as lâminas evapotranspirada pela cultura foi realizada a calibração do conjunto que ocorreu com a adição e retirada de massas conhecidas em intervalos de 2 minutos, em que eram anotados os sinais elétricos gerados pelas deformações das células de cargas, tanto para a adição de cada peso como para a retirada dos mesmos, simulando a entrada e saída de água do conjunto lisimétrico. O processo foi repetido 5 vezes, formando 5 ciclos de medições para posterior análises. As massas-padrão utilizadas foram de 0.05, 0.1, 0.144, 0.2, 0.250, 0.3, 0.4, 0.5, 0.720, 1.44, 2.88, 5.0, 10.0, 20.0 kg pesados em uma balança eletrônica de precisão e posteriormente vedados.

Os valores da evapotranspiração da cultura do cacau foram obtidos com base na Equação 1 após a obtenção da variação de massa calculada de acordo com Campeche (2002).

$$ETc = P + I \pm \Delta ML - D \quad (1)$$

Em que:

ETc= Evapotranspiração da cultura (mm dia⁻¹);

P= Precipitação (mm);

I= Lâmina de água aplicada via sistemas de irrigação (mm);

ΔML = Variação de massa no lisímetro (mm); e

D= Drenagem (mm).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados da calibração do conjunto lisimétrico com o lisímetro em uso com a cultura do cacau estão expressos na Figura 2, sendo observados uma boa relação entre as massas aplicadas e o sinal (mV) gerado pelas deformações das células de cargas, visto os valores para os coeficientes de determinação (R^2) de 1. Corroborando com Santos et al. (2017), Carvalho et al. (2013), Nascimento et al. (2011) que obtiveram altos coeficientes de determinação acima de 0,99 na equação de calibração de lisímetros cultivados pela cana-de-açúcar, café e videira.

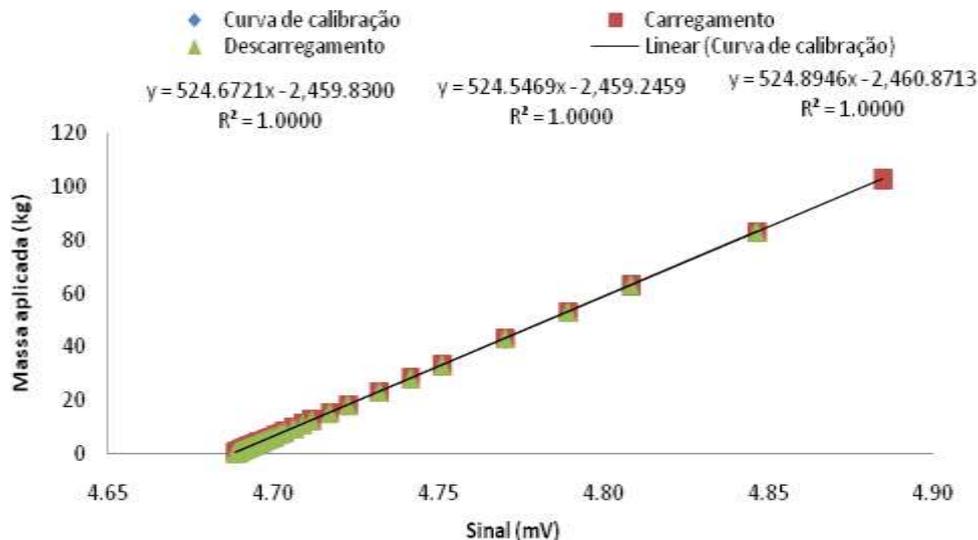


Figura 2. Curva de calibração de um lisímetro de pesagem baseado em células de cargas, cultivado com uma planta jovem de cacau.

Além disso, os autores também constataram excelente linearidade entre as massas (aplicadas e mensuradas) para cada lisímetro. Assim como o observado para o lisímetro nesta pesquisa ($R^2=1$), mostrando que o mesmo pode ser utilizado com segurança para obtenção das medidas da ETc, uma vez que, os elementos sensíveis (células de cargas) conseguiram detectar sem maiores erros de medidas, as entradas e saídas de massa de água do conjunto.

Os erros de medidas atribuídos ao conjunto lisimétrico e quantificados em seu processo de calibração apresentam uma baixa influência na determinação da ETc pelo lisímetro de pesagem. Para Vellame et al. (2011), a quantificação dos erros de medidas envolvidos nesse processo se fazem necessários e são eles que qualificam essa metodologia, sendo quantificados no presente trabalho os erros absolutos, histerese, incerteza e repetitividade

Os erros máximos absolutos foram equivalentes a uma lâmina de 0,109 mm (0,158 kg) sendo inferiores aos observados por Carvalho et al. (2013) (0,2, 0,08 e 0,66 mm) e Nascimento et al. (2011) (0,4, 0,6 e 1 mm equivalendo a uma massa de 0,94, 1,44 e 2,4 kg), em que em um dos lisímetros o erro padrão de 1 mm torna-se o uso deste equipamento inadequado para determinar a ETc.

Os resultados observados na calibração da pesquisa quando confrontados com os apresentados por demais pesquisadores na literatura, mostram que o lisímetro é adequado para a determinação direta da ETc do cacau cujos erros de incertezas foram de 0,06 mm (0,088 kg), histerese de 0,0218 mm (0,031 kg) e de repetitividade de 0,018 mm (0,026 kg).

De acordo com Vellame et al. (2012), os erros sistemáticos das células de cargas são praticamente insignificantes em lisímetros de pesagem, visto que nestes equipamentos além das diferenças de massa serem calculadas em curtos intervalos de tempo, a determinação das mesmas é realizada utilizando a curva de calibração obtida no próprio instrumento de medida tornando os erros sistemáticos de pouca importância.

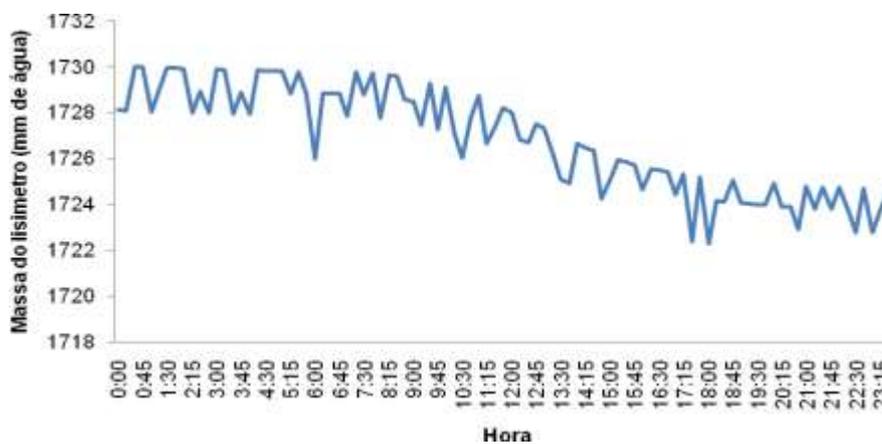
Já os erros de repetitividade influenciam significativamente na acurácia do lisímetro, por representar um erro aleatório, o que de acordo com Vellame et al. (2011) não podem ser compensados em detrimento a equação de calibração. Na presente pesquisa estes foram os que menos apresentaram influência nas determinações de ETc, ficando mais uma vez

comprovado que o lisímetro está apto para realizar tais medidas e em períodos inferiores a um dia.

Com a realização da calibração do conjunto lisimétrico que ocorreu com o lisímetro em uso analisou-se o funcionamento do mesmo. Esta análise foi realizada em dias com situações atípicas, com e sem o registro de precipitação.

Na Figura 3 são apresentados os valores decrescentes de variações de massa líquida do conjunto lisimétrico em intervalos inferiores à uma hora em relação à velocidade do vento e a radiação solar aferidas em intervalos de uma hora ao longo de um dia. Observa-se para este dia (1 de março) velocidade média do vento de 2.8 m s^{-1} , com um pico de 5.7 m s^{-1} às 17:00 h. Observa-se ainda, que a massa do lisímetro decresceu ao longo do dia, mantendo-se mais constante no período noturno, ocasionados pela demanda evaporativa que também é maior nesse período diurno.

(A)



(B)

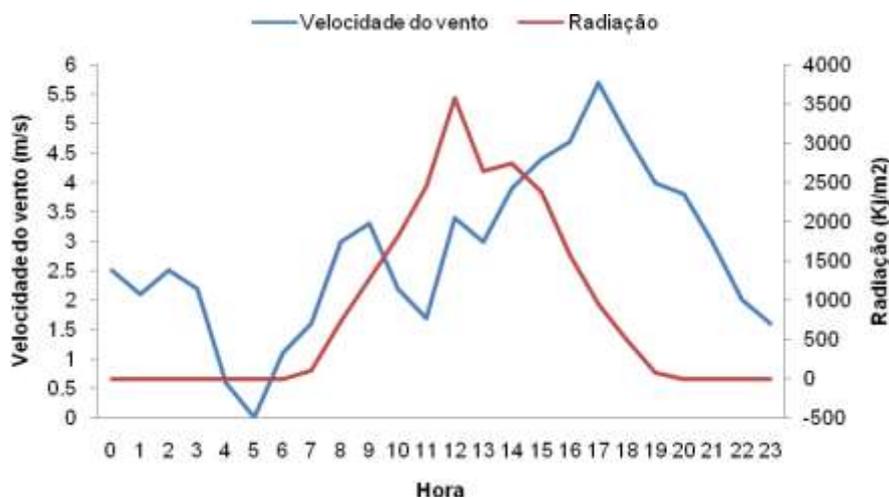


Figura 3. Variação de massa decrescente no lisímetro sem a ocorrência de precipitação e irrigação em intervalos inferiores a 1 hora para o dia 1 de março de 2017. (A) em relação às demais condições meteorológicas, Velocidade do vento e Radiação (B).

A turbulência do vento pode ter afetado as medidas lisimétricas, principalmente no período noturno em que a velocidade do vento apresentou valores de 2.5; 2.1; 2.5; 2.2; 0.6 m s⁻¹ (das 0:00 às 04:00 horas) e de 4.8; 4; 3.8; 3; 2; 1.6 m s⁻¹ (das 18:00 às 23:00 horas). Corroborando com Campeche (2002) e Nascimento et al. (2011) que observaram os efeitos das oscilações do vento nas medidas de ETc.

CONCLUSÃO

O lisímetro de pesagem instalado apresentou excelente linearidade dos dados comprovados pelos coeficientes de determinação de 1 no processo de calibração.

Os erros de medidas quantificados no processo de calibração foram mínimos e não influenciam significativamente nas medidas da ETc da cultura do cacau.

A utilização de lisímetro de pesagem baseado em células de cargas é eficiente nas determinações em escala de tempos menores que um dia, porém observou-se que as variáveis meteorológicas dificultam o monitoramento do consumo hídrico da cultura, interferindo nas medidas de evapotranspiração pelo balanço de massa.

Mesmo assim, este dispositivo de medidas opera com boa precisão e está apto para realizar medidas de evapotranspiração da cultura do cacau em curtos intervalos de tempo.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior – CAPES;

À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB pela concessão da bolsa de Doutorado;

À Universidade Federal do Recôncavo da Bahia;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Agrícola da Universidade Federal do Recôncavo da Bahia pelo apoio; e

Ao Grupo de Pesquisa cadastrado no Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico (CNPq) em Alimentos, Química, Agronomia e Recursos Hídricos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CAMPECHE, L. F. M. S.; NETTO, A. O. A.; 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.

CAMPECHE, L. F. S. M. **Construção, calibração e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração da cultura da lima ácida "Tahiti" (*Citruslatifolia* Tan.)**. Tese (Doutorado) em Agronomia – Irrigação e Drenagem, ESALQ Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, Piracicaba, 67 p. 2002.

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

NASCIMENTO, A. H. C.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; ALBUQUERQUE FILHO, J. A. C.; SILVA, Ê. F. F.; LIMA, N. S. Desempenho de um lisímetro de pesagem hidráulica com diferentes sistemas de leitura. **Revista Irriga**, v. 13, n. 5, p. 232- 245, 2016.

NASCIMENTO, E. F.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BASSOI, L. H.; SILVA, J. A.; LIMA, A. C. M.; PEREIRA, F. A. C. Construção e calibração de lisímetros de pesagem para determinação da evapotranspiração e coeficiente de cultivo em videira de vinho cv. Syrah. **Irriga, Botucatu**, v. 16, n. 3, p. 271-287, 2011.

OMETTO, J. C. **Bioclimatologia vegetal**. São Paulo: Agronômica Ceres 1981. 440p.

REICHARDT, K.; TIMM, L. C. **Solo, planta e atmosfera: conceitos, processos e aplicações**, 2. ed. Barueri: Manole, 2012. 500 p.

SANTOS, D. P.; SANTOS, M. A. L.; SANTOS, C. S.; SILVA, P. F.; LEÃO, I. B. Construção, instalação, calibração, performance e análise de funcionamento de lisímetros de pesagem cultivados com cana-de-açúcar. **Revista Brasileira de Agricultura Irrigada**, v. 11, n. 4, p. 1606 - 1616, 2017.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; COELHO, E.F.; FRAGA JÚNIOR, E. F. Lisímetro de pesagem e de lençol freático de nível constante para uso em ambiente protegido. **Revista Caatinga**, v. 25, n. 1, p. 153-159, 2012.

VELLAME, L. M.; COELHO FILHO, M. A.; PAZ, V. P. S.; COELHO, E. F. Gradientes térmicos naturais na estimativa do fluxo de seiva pelo método Granier. **Revista Caatinga**, v. 24, p. 116-122, 2011.