

Sistema automático de aquisição de dados de evapotranspiração de referência acoplado a um lisímetro de lençol freático constante

Automatic reference evapotranspiration data acquisition system coupled to a constant greater table lysimeter

Sistema automático de adquisición de datos de evapotranspiración de referencia acoplado a un lisímetro de mesa mayor

Recebido: 04/05/2023 | Revisado: 12/05/2023 | Aceitado: 13/05/2023 | Publicado: 19/05/2023

Antonio Tadeu Pellison

ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-7163-0651>
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil
E-mail: tadeupellison@gmail.com

José Rafael Franco

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7129-4304>
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil
E-mail: jose_rafael.franco@unesp.br

Giovana Stucchi

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5416-4030>
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil
E-mail: giovana.stucchi@unesp.br

Marcus Vinícius Contes Calça

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5685-3980>
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil
E-mail: marcus.calca@unesp.br

Matheus Rodrigues Raniero

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8338-4887>
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil
E-mail: matheus.raniero@unesp.br

Alexandre Dal Pai

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1283-901X>
Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Brasil
E-mail: dal.pai@unesp.br

Resumo

A evapotranspiração é um elemento agrometeorológico muito importante no meio agrícola para o manejo de irrigação. A medida correta de evapotranspiração é difícil de ser obtida devido à complexidade de sua instrumentação de medição e da necessidade de acompanhamento diário para coleta das medidas. Tendo em vista este cenário, o propósito deste estudo foi desenvolver um sistema automatizado utilizando eletrônica embarcada por meio da plataforma de hardware livre Arduino, para a medição da evapotranspiração de referência utilizando um lisímetro de lençol freático constante. As medidas coletadas com o lisímetro de lençol freático constante foram obtidas experimentalmente no segundo semestre de 2017. Os resultados obtidos a partir da análise gráfica demonstram que o sistema construído utilizando eletrônica embarcada através da plataforma Arduino mostrou-se confiável para a medição no lisímetro de lençol freático constante em escala horária e diária.

Palavras-chave: Irrigação; Automação; Manejo de recursos hídricos.

Abstract

Evapotranspiration is a very important agrometeorological element in the agricultural environment for irrigation management. The correct measurement of evapotranspiration is difficult to obtain due to the complexity of its measurement instrumentation and the need for daily monitoring to collect measurements. In view of this scenario, the purpose of this study was to develop an automated system using embedded electronics through the Arduino free hardware platform, for the measurement of reference evapotranspiration using a constant water table lysimeter. The measurements collected with the constant water table lysimeter were obtained experimentally in the second half of 2017. The results obtained from the graphical analysis demonstrate that the system built using embedded electronics through the Arduino platform proved to be reliable for the measurement in the water table lysimeter constant water table on hourly and daily scale.

Keywords: Irrigation; Automation; Management of water resources.

Resumen

La evapotranspiración es un elemento agrometeorológico muy importante en el medio agrícola para la gestión del riego. La medición correcta de la evapotranspiración es difícil de obtener debido a la complejidad de su instrumentación de medición y la necesidad de un seguimiento diario para recopilar las mediciones. Ante este escenario, el propósito de este estudio fue desarrollar un sistema automatizado utilizando electrónica embebida a través de la plataforma de hardware libre Arduino, para la medición de la evapotranspiración de referencia utilizando un lisímetro de nivel freático constante. Las mediciones recolectadas con el lisímetro de nivel freático constante se obtuvieron experimentalmente en el segundo semestre de 2017. Los resultados obtenidos del análisis gráfico demuestran que el sistema construido con electrónica embebida a través de la plataforma Arduino demostró ser confiable para la medición en el lisímetro de nivel freático. nivel freático constante en escala horaria y diaria.

Palabras clave: Riego; Automatización; Gestión de recursos hídricos.

1. Introdução

A água tem importância ecológica, econômica e social. Devido à escassez de recursos hídricos, o elevado custo de energia elétrica e o uso múltiplo da água, torna-se necessário a utilização de metodologias apropriadas para o manejo racional do uso da água (Damasceno et al., 2019). O setor agroindustrial, por meio da irrigação agrícola, é responsável por boa parte do consumo de água disponível em rios, lagos e aquíferos subterrâneos. A utilização da água na produção agrícola a partir de um planejamento eficiente, tornou-se fundamental para a construção de uma sociedade sustentável, isto se dá a partir do controle no momento da irrigação (Monte et al., 2019).

A perda conjunta de água do solo pela evaporação e da planta pela transpiração é conhecida como evapotranspiração, que é um dos componentes do ciclo hidrológico, sua medição é de grande utilidade nas áreas de climatologia e irrigação agrícola, para a quantificação das disponibilidades hídricas regionais (Fernandes & Turco, 2003). Assim como, a obtenção de medidas da evapotranspiração também guarda importância no sentido de gerenciar a irrigação agrícola na quantidade correta, garantindo que as culturas recebam água suficiente para o crescimento, mas sem excessos que possam levar ao desperdício de água, à degradação do solo e ao surgimento de pragas (Marouelli & Calbo, 2009).

Por outro lado, a evapotranspiração é um elemento agrometeorológico difícil de se medir devido à complexidade do funcionamento da sua instrumentação (lisímetro), devido também a manutenção, que deve ser realizada diariamente para garantir a qualidade da medida. Um dos métodos utilizados para medir a evapotranspiração é a utilização do lisímetro de lençol freático constante (Nascimento Filho et al., 2020; Tagliaferre et al., 2011). Neste método, as medidas de evapotranspiração são registradas diariamente de forma manual por uma pessoa responsável. Devido a essa necessidade de mão de obra especializada, a qualidade da medida fica sobre a responsabilidade do operador (Carvalho et al., 2020).

Uma forma de facilitar a coleta de dados de forma automática, sem a necessidade de um operador especializado, é utilizando sensores eletrônicos para captação e armazenamento das informações em um meio digital (Amorim, 2015). Neste sentido, a plataforma Arduino possui microcontroladores de baixo custo, que possibilitam a automatização de processos que antes eram realizados de forma manual, a partir da eletrônica embarcada (Bica, 2021). O funcionamento do Arduino depende do uso de sensores que realizam a coleta de dados, de modo que os dados registrados podem ser processados e armazenados em um módulo de memória, para posterior utilização (Torres et al., 2015; Sbardella et al., 2021).

O objetivo deste estudo foi demonstrar a montagem de um lisímetro de lençol freático constante e a automatização do seu processo de medição da evapotranspiração de referência, utilizando eletrônica embarcada a partir de componentes de baixo custo, baseados na plataforma Arduino. O sistema de coleta das medições foi montado de forma experimental na Fazenda Lageado da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Unesp de Botucatu (SP), Brasil no ano de 2017. Os dados coletados foram armazenados em um cartão de memória (SD), possibilitando realizar análises estatísticas e gráficas, assim como utilizar as informações para o manejo de irrigação agrícola.

2. Metodologia

2.1 Localização e clima

O experimento foi conduzido no Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar (Agromet), da Faculdade de Ciências Agrônomicas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp), de Botucatu (SP) - Brasil (22°51’S de latitude e 48°26’O de longitude, à 786 metros acima do nível do mar). Localizado na região centro-sul do Estado de São Paulo, Botucatu possui grande variação de altitude, entre 400 e 500 metros na região mais baixa e de 700 a 900 metros no planalto ocidental paulista. O clima é classificado como temperado quente (mesotérmico), possuindo verões quentes e úmidos, e invernos secos (Dal Pai et al., 2016; Silva et al., 2017).

O local de experimentação onde foi construído e implantado o sistema de automatização do lisímetro de lençol freático constate (Figura 1), no ano de 2017, estava totalmente coberta com grama batatais (*Paspalum notatum*), possuindo uma área retangular de 399,36 m² (15,6 m x 25,6 m) de acordo com o padrão estabelecido pelo boletim da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura - FAO-56 (Allen et al., 1998). A altura da grama foi mantida em 10 cm durante toda a condução do experimento. O terreno possui declividade de 2%, sendo o solo classificado como Latossolo Vermelho Distroférico.

Figura 1 - Espaço Experimental de Lisimetria do Laboratório de Agrometeorologia e Radiometria Solar no Departamento de Bioprocessos e Biotecnologia da Faculdade de Ciências Agrônomicas (UNESP), em Botucatu (SP) - Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

No espaço experimental de lisimetria, se tem a condução de diversos experimentos de lençol freático constante ocorrendo, assim como o de um lisímetro de pesagem. Conforme Doorenbos e Pruitt (1977), a determinação da ETo é realizada em uma área com vegetação rasteira (grama), crescimento ativo e mantida a uma altura uniforme, seguindo de base para a ETo de outras culturas agrícolas. Desta forma, métodos diferentes puderam ser comparados utilizando as medidas de evapotranspiração de todos os experimentos observados.

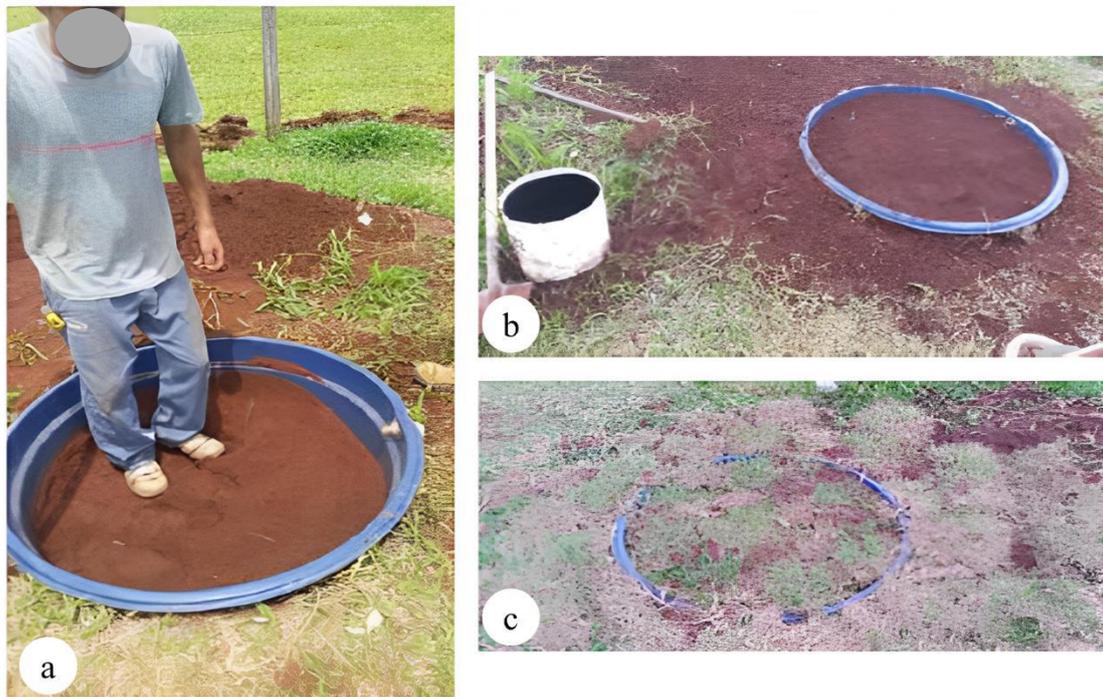
2.2 Montagem do lisímetro de lençol freático constante

O lisímetro de lençol freático constante foi construído utilizando uma caixa d'água de polietileno de 500 litros com 0,58 m x 1,22 m x 0,95 m (altura, diâmetro superior e diâmetro inferior), um tanque intermediário e um tanque medidor, ambos com 0,70 m de altura e 0,31 m de diâmetro. A escavação realizada para a instalação do lisímetro ocorreu de maneira manual

durante o ano de 2017, tomando-se cuidado na separação do volume de terra retirado, para posteriormente ser recolocado na caixa d'água do lisímetro, armazenada no próprio local.

No fundo da caixa d'água foi colocada uma camada de brita número um, que posteriormente foi coberta por uma manta do tipo bidim geotextil, para separar a brita e a terra. O solo retirado na escavação do buraco foi recolocado de forma a manter as características iniciais. A recolocação ocorreu em camadas, que sofreram uma leve compactação (Figura 2a). Após o preenchimento total da caixa d'água por terra (Figura 2b), foi plantada a grama batatais (Figura 2c), sendo a superfície de referência para a quantificação da evapotranspiração de referência.

Figura 2 - Montagem do lisímetro de lençol freático constante: a) preenchimento da caixa d'água com a terra retirada do local; b) preenchimento total de terra no espaço escavado; c) plantio de grama batatais.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na figura anterior, observa-se que, a construção de um lisímetro de lençol freático constante, exige a remoção cuidadosa do solo no local para instalação da caixa. Posteriormente, o solo removido é repostado em suas camadas, no interior da caixa. Esta etapa do experimento exige, de certa forma, mão de obra qualificada, ou seja, de pessoas que possuam conhecimento na área agrícola.

O funcionamento do lisímetro de lençol freático constante se dá pela perda da água por meio da evaporação do solo ou da transpiração da grama, que faz com que o nível de água do tanque intermediário diminua e acione uma boia. A boia permite a passagem de água do tanque medidor para o tanque intermediário. No tanque medidor, a medição da evapotranspiração é realizada pela redução do volume de água presente nele, em um determinado período. Para a realização desse processo, a água do tanque intermediário precisa estar em nível com a raiz da grama (25 centímetros de altura), simulando dessa forma um lençol freático constante. Caso ocorra precipitação, a água que entra na caixa d'água retorna para o tanque intermediário, elevando seu nível e sendo necessário nesse momento efetuar a drenagem do excesso de água.

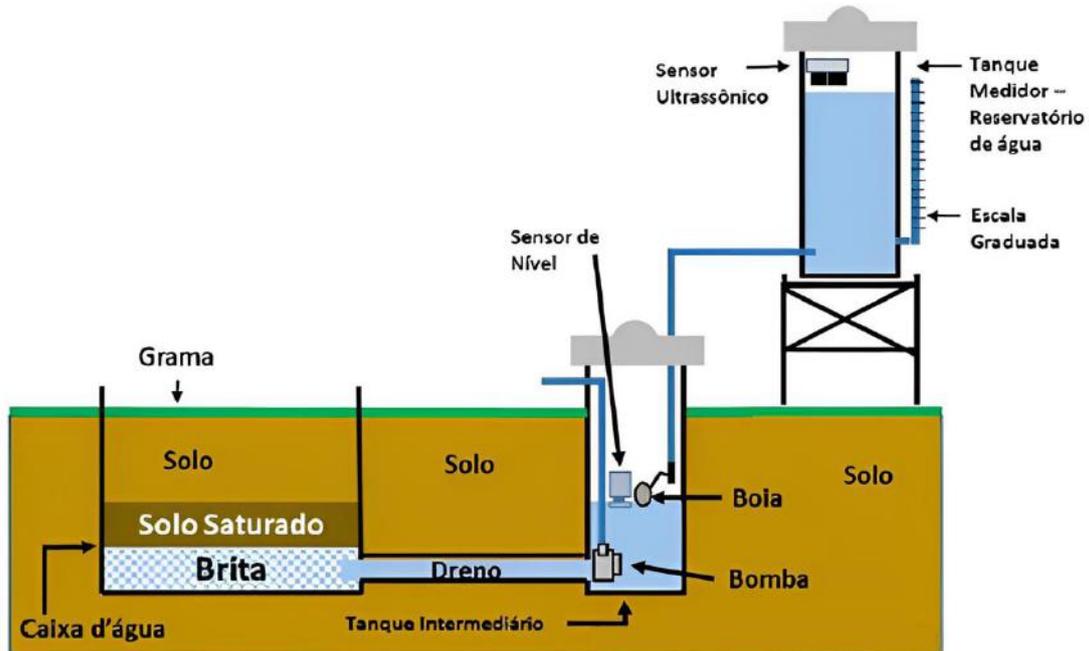
2.3 Componentes eletrônicos e funcionamento da eletrônica embarcada

Os componentes eletrônicos para aquisição das medidas de evapotranspiração e controle do nível da água foram instalados após a montagem do lisímetro de lençol freático constante. Neste sentido, foram utilizados os seguintes componentes eletrônicos na montagem do sistema automatizado:

- **Plataforma Arduino - Versão UNO:** É uma plataforma de hardware livre para o desenvolvimento de circuitos eletrônicos, onde o hardware pode ser programado em uma IDE (Ambiente Integrado de Desenvolvimento) de código aberto própria da fabricante (Arduino, 2023). O Arduino UNO possui um microcontrolador da família AVR de grande confiabilidade, da família 328 P que pode atingir uma velocidade de 20 MHz, de 8 b bits, com 32 KB de memória flash, 1 KB de memória EEPROM, 2 KB de RAM, além de um conversor analógico digital interno de 10 b bits (Banzi, 2012).
- **Sensor Ultrassônico HC - SR04:** É um componente eletrônico que realiza leituras entre cm e 4 m de distância de seu alvo, com precisão acima de 3 mm. A distância medida pelo Sensor Ultrassônico HC-SR04, foi calculada de acordo com o tempo de envio e de retorno do sinal ultrassônico no lisímetro de lençol freático constante em relação ao nível da água no tanque medidor. Neste sentido, para sua ativação foi necessário um recurso de programação conhecido como gatilho (trigger), de pelo menos 10 μ s de nível alto (Pereira e Silva, 2021).
- **Módulo RTC (Real Timer Clock):** Foi usado para fornecer informações adicionais a variação da altura da água no tanque medidor em relação ao tempo de coleta. O módulo RTC (Real Timer Clock) consiste em uma placa eletrônica desenvolvida sobre o CI RTC DS3231, um componente de contagem de tempo que possui uma precisão de \pm 2 minutos por ano e comunica no protocolo I²C, disponível no Arduino UNO. Foi usado para fornecer informações adicionais relacionadas ao dia, mês, ano, semana, minuto, hora e segundo, através de uma bateria de lítio de 3 volts V (Mcroberts, 2011).
- **Módulo SD-Card:** As medidas coletadas foram armazenadas de forma que fosse possível serem acessadas, tratadas e recuperadas de forma segura, de modo que para tal tarefa foi utilizado um cartão do tipo SD. Portanto, um módulo SD-Card foi usado, pois é um dispositivo mecânico onde pode-se conectar um cartão SD, ligado diretamente a uma sequência de divisores de tensão conectados aos pinos do Arduino UNO, a fim de limitar os sinais de comunicação de 5 volts V para 3 volts V. A comunicação foi feita através do protocolo SPI do Arduino UNO, que define uma comunicação serial síncrona de curta distância em sistemas embarcados (Torres et al., 2015).
- **Bomba D'água Better 650 e Sensor de Nível de Água:** Foi utilizada para realizar a drenagem do tanque intermediário quando ocorre a precipitação pluvial. Além disso, foi instalado um sensor para monitorar o nível de água no tanque. Desta forma, a bomba d'água era acionada quando o sensor de nível de água ficava submerso, retirando o excesso de água do tanque, uma vez que poderia prejudicar o funcionamento do lisímetro de lençol freático constante (Machado & Mattos, 2001).

O Arduino UNO, módulo RTC e o módulo SD-Card foram instalados dentro de um abrigo meteorológico, para não ficarem expostos diretamente ao sol ou chuva. Na Figura 3, pode-se observar a disposição dos demais componentes eletrônicos utilizados, com o sensor ultrassônico sendo instalado na parte superior do tanque de medição, e a bomba d'água e sensor de nível de água sendo instalados na parte inferior do tanque intermediário.

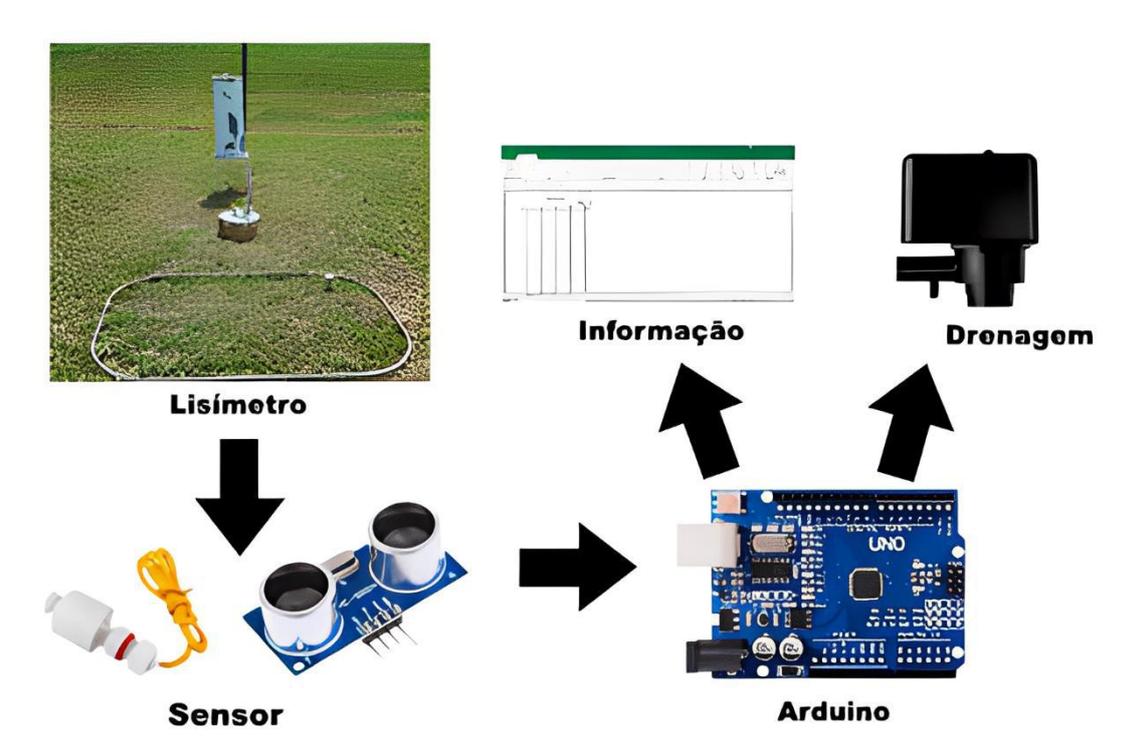
Figura 3 - Disposição dos componentes eletrônicos do sistema de automatização de medidas do lisímetro de lençol freático constante.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na figura anterior, observa-se que o lisímetro de lençol freático constante é um instrumento agrometeorológico complexo, que requer o correto funcionamento de diversos componentes para se ter uma medida precisa. A Figura 4 apresenta o esquema de funcionamento do sistema automatizado para aquisição das medidas e controle do nível da água no lisímetro de lençol freático constante. A cada uma hora, o Arduino UNO verificou por meio do sensor ultrassônico a altura (em centímetros) da água no tanque de medição e armazenou essa informação no cartão SD. Posteriormente, esses dados gravados foram processados em planilhas eletrônicas para gerar informações, como a evapotranspiração de referência. No tanque intermediário, caso ocorresse a precipitação e elevasse o nível da água, o sensor de nível acionava a bomba d'água, mantendo a água do tanque inferior a 25 cm de altura.

Figura 4 - Esquema de funcionamento do sistema automatizado de aquisição de medidas de evapotranspiração no lisímetro de lençol freático constante.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na figura anterior, observa-se o fluxograma de funcionamento do lisímetro de lençol freático constante com a automação do sistema de coleta de medidas e de drenagem, baseado em componentes e sensores eletrônicos.

3. Resultados e Discussão

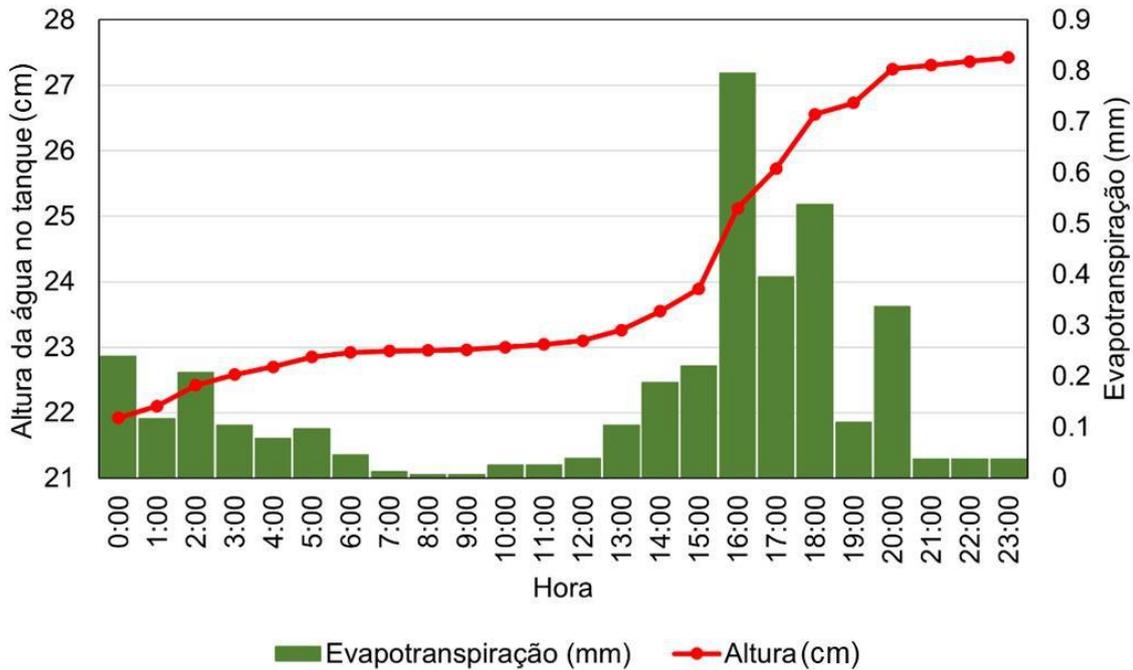
As medidas de evapotranspiração foram realizadas entre os meses de junho a dezembro do ano de 2017, o que compreendeu as estações de inverno e primavera no local em que foram coletadas. O período em que as medidas de evapotranspiração foram obtidas é muito importante para o manejo de irrigação agrícola devido a ocorrência de poucas chuvas na época do ano em questão. Neste sentido, a evapotranspiração de referência foi determinada através das leituras do sensor ultrassônico instalado no tanque medidor. Para tal, considerou-se a seguinte equação:

$$ET_0 = (H_1 - H_2) \times 0,647 \quad (1)$$

De modo que, ET_0 representa a evapotranspiração de referência em milímetros (mm), H_1 é a leitura em um intervalo de uma hora em milímetros (mm) e H_2 é a leitura no intervalo de uma hora anterior em milímetros (mm).

A Figura 5 exibe os dados de evapotranspiração registrados em escala horária para o dia 02/06/2017. A medida foi registrada pela distância entre a água e a tampa do tanque, conforme descrito nas seções anteriores. Quando ocorreu a perda de água devido ao processo de evaporação ou transpiração, a distância registrada pelo sensor ultrassônico aumentava e a quantidade de água diminuía. Neste caso, a evapotranspiração foi mensurada pela diferença da distância entre essas duas medidas. A medida inicial da distância as 00:00 foi de 21,92 cm e finalizou com 27,42 cm no final do dia (5,50 cm de água a menos no tanque), o que resultando em uma evapotranspiração diária de 3,80 mm.

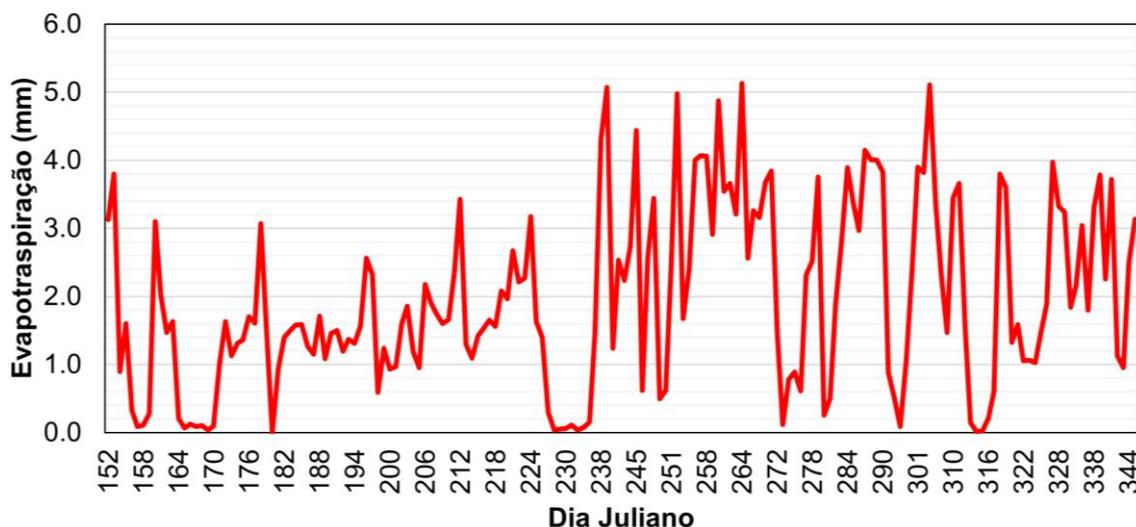
Figura 5 - Dados horários de evapotranspiração mensurados pelo sistema automatizado no lisímetro freático constante no dia de amostragem 02/06/2017.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na figura anterior, pode-se observar a medida de evapotranspiração realizada a cada hora do dia pelo lisímetro de lençol freático constante. Foi possível constatar, a partir da análise gráfica, que a montagem realizada apresenta maiores medidas durante o dia, isso ocorre em resposta a radiação solar, temperatura do ar e velocidade do vento. Já a Figura 6 apresenta as medidas diárias de evapotranspiração realizadas em 176 dias durante o período de realização do experimento. Nos dias em que ocorria chuva, não era registrada a evapotranspiração, devido ao solo estar saturado de água. Portanto, durante os dias que não ocorria chuva o lisímetro realizou medidas corretamente, chegando a registrar diariamente até 5 mm de evapotranspiração.

Figura 6 - Dados diários de evapotranspiração medidos pelo lisímetro de lençol freático constante durante os dias 152 e 344 decorridos do ano de 2017.



Fonte: Elaborado pelos autores (2023).

Na figura anterior, visualiza-se as medidas diárias de evapotranspiração. Neste caso, as medidas mais elevadas foram observadas em dias de céu aberto, após a ocorrência de chuva, removendo a presença de aerossóis contidos na atmosfera terrestre. É importante destacar também que, as medidas também podem ser influenciadas pelo fotoperíodo, que muda ao decorrer do ano, sendo menor no inverno e maior no verão para a região de estudo.

4. Conclusão

O lisímetro de lençol freático constante e o sistema de automatização de medidas de evapotranspiração foi construído e testado apresentando condições de funcionamento e obtenção de medidas de evapotranspiração. A utilização de componentes eletrônicos de baixo custo possibilitou a coleta de medidas de evapotranspiração de forma automática em uma menor resolução temporal (a cada 1 hora) do que normalmente é praticado em estações agrometeorológicas, possibilitando um maior número de observações comparado ao método manual, onde a medida é registrada uma única vez ao dia. Para futuros estudos, propõem-se a comparação das medições coletadas em relação a medidas e modelos de referência em diferentes resoluções temporais, utilizando indicativos estatísticos e gráficos exploratórios. Futuras análises podem ser realizadas, como a comparação de medidas diárias e horárias do lisímetro de lençol freático constante com outros métodos de lisimetria e com dados de evapotranspiração estimados utilizando modelos da literatura especializada, a partir de elementos agrometeorológicos medidos.

Referências

- Arduino. (2023). Documentação de Referência da Linguagem Arduino. <https://www.arduino.cc/reference/pt/>.
- Amorim, H. S., Dias, M. A., & Soares, V. (2015). Sensores digitais de temperatura com tecnologia one-wire: Um exemplo de aplicação didática na área de condução térmica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 37(4), 4310. <https://doi.org/10.1590/S1806-11173742009>.
- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (1998). *Crop evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements*. Rome: FAO.
- Bica, M. R. R., Dal Pai, A., Ranieiro, M. R., Calca, M. V. C., & Franco, J. R. (2021). Sistema de monitoramento de temperatura em silo de armazenamento de grãos com comunicação sem fio. *Brazilian Journal of Development*, 7(5). <https://doi.org/10.34117/bjdv.v7i5.30175>.
- Banzi. (2012). *Primeiros Passos com o Arduino*. Novatec Editora Ltda.
- Carvalho, R. C., Mota, F. D., Gabriel Filho, L. R. A., Klar, A. E., & Grassi Filho, H. (2020). Lisímetro para medida da evapotranspiração na cultura do pimentão em sistema hidropônico com substrato. *Irriga*, 25(2), 361-376. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p361-376>.

- Dal Pai, A., Escobedo, J. F., Dal Pai, E., Oliveira, A. P., Soares, J. R., & Codato, G. (2016). MEO shadowing method for measuring diffuse solar irradiance: Corrections based on sky cover. *Renewable Energy*, 99, 754-763. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2016.07.026>.
- Damasceno, S. B., Souza Filho, E. A., & Alves, S. B. S. M. (2019). Usos múltiplos dos recursos hídricos em propriedade rural na Bacia Hidrográfica do Rio Tarumã-Açu, Manaus-Am. *Meio Ambiente em Foco*, 8, 46. <https://doi.org/10.29327/15262.5-9>.
- Doorenbos, J. and Pruitt, W.O. (1977). *Crop Water Requirements*. Rome: FAO.
- Fernandes, E. J., & Turco, J. E. P. (2003). Evapotranspiração De Referência Para Manejo Da Irrigação Em Cultura De Soja. *Irriga*, 8, 132-141. <https://doi.org/10.15809/irriga.2020v25n2p361-376>.
- Nascimento Filho, A. A., Costa, R. N. T., Sousa, C. H. C., Mateus, C. M. D., & Nunes, K. G. (2020). Effect of excess soil water on the development of Bermuda grass (*Cynodon spp.*). *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 24(5), 298-303. <https://doi.org/10.1590/1807-1929/agriambi.v24n5p298-303>.
- Machado, R. E., & Mattos, A. (2001). Construção e instalação de um lisímetro com sistema de drenagem. *Revista Brasileira de Agrometeorologia*. 9, 147-151.
- Marouelli, W. A., & Calbo, A. G. (2009) Manejo de irrigação em hortaliças com sistema irrigas. *Embrapa*. <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/428165/1/Proci09.00069.PDF>.
- Microberts. (2011). *Arduino Básico*. Novate Editora Ltda.
- Monte, B. R., Pereira, J. R., & Barranco, J. F. A. (2019). A Agricultura irrigada na região do semiárido legal mineiro: um estudo sobre os avanços e impactos ambientais. *Revista Livre de Sustentabilidade e Empreendedorismo*, 4(6), 222-248. <http://www.relise.eco.br/index.php/relise/article/view/310>.
- Pereira. P. D. M., & Silva, M. S. (2021). Construção de um kit experimental com arduino para ensino de oscilações em tempo real. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 43. <https://doi.org/10.1590/1806-9126-RBEF-2021-0186>.
- Sbardella, M., Franco, J. R., Gomes, J. W. S., Dal Pai, A., & Dal Pai, E. (2021). Instrumento digital para medição de diâmetro florestal usando microcontrolador de baixo custo. *Research, Society and Development*, 10 (17). <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v10i17.24197>.
- Silva, M. B. P., Escobedo, J. F., Rossi, T. J., Santos, C. M., & Silva, S. H. M. G. (2017). Performance of the Angstrom-Prescott Model (A-P) and SVM and ANN techniques to estimate daily global solar irradiation in Botucatu/SP/Brazil. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 26, 11-23.
- Stevan, S. L. (2015). *Automação e instrumentação industrial com Arduino: teoria e projetos*. Érica.
- Tagliaferre1, C., Oliveira, R. A., Sediya, G. C., Cecon, P. R., & Materán, F. J. V. (2011). Uso Do Irrigâmetro Para Estimar A Evapotranspiração De Referência Com Base No Método Do Lisímetro De Lençol Freático Constante. *Reveng*, 19(2), 152-163. <https://doi.org/10.13083/reveng.v19i2.209>.
- Torres, J. D., Monteiro, I. O., Santos J.R., & Ortiz, M. S. (2015) Aquisição de dados meteorológicos através da plataforma Arduino: construção de baixo custo e análise de dados. *Scientia Plena* 11(2), 021712.