

DOI: 10.7127/rbai.v1501174

CONTROLADOR DE IRRIGAÇÃO, BASEADO NA APLICAÇÃO DE ÁGUA EM TURNOS DE REGA E LÂMINAS VARIÁVEIS**IRRIGATION CONTROLLER, BASED ON WATER APPLICATION IN WATERING SHIFTS AND VARIABLE LEVELS****José Eduardo Pitelli Turco^{1*}** , **Ruy de Aguiar Araújo Júnior²** ¹ Prof., Dep. de Engenharia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, SP, Brasil.² Prof., Instituto Federal do Triângulo Mineiro, Campus de Patos de Minas, Patos de Minas, MG, Brasil.

RESUMO: Já não é de hoje que a agricultura de precisão vem sendo utilizada no setor agrícola não só para melhorar os níveis de produtividade, como também reduzir os impactos ambientais e sendo um processo que leva em conta a coleta de dados, análise desses dados e a gestão da variabilidade espacial e temporal (manejo localizado), no intuito de implementarmos respostas em escala e tempo adequada, objetivou-se neste trabalho justamente corroborar no sentido de aumentar a melhoria da eficiência de utilização da água na gestão da irrigação, por meio de um controlador (hardware e software) automático, com tecnologia de comunicação sem fio. Neste trabalho, a eficiência do equipamento foi validada em um sistema de irrigação por aspersão para pastagem, embora possa ser utilizado para controlar a irrigação de qualquer cultura, bastando para isso conhecermos o tipo de sistema de irrigação, o(s) coeficiente(s) da cultura (K_c) e os limites de capacidade de campo e de ponto de murcha permanente do solo (análise da retenção da água no solo), no intuito de estabelecermos um parâmetro de disponibilidade hídrica a ser utilizada pela cultura. A proposta foi desenvolver um equipamento de precisão capaz de aplicar a água em turnos de rega e lâminas variáveis e a partir dos resultados concluiu-se que o controlador sem fio proposto mostrou-se original e eficiente no controle da irrigação para enlaces de até 212 metros entre seus módulos de comunicação.

Palavras-chave: Sustentabilidade, automação, comunicação sem fio

ABSTRACT: It is not the first time that precision agriculture has been used to improve productivity levels, as well to reduce environmental impacts and it is a process that takes into account data collection, analysis of this data and management of spatial and temporal variability (localized management), in order to implement responses on an adequate scale and time, this study aimed to corroborate in order to increase the improvement of the efficiency of water use in irrigation management, by means of an automatic controller (hardware and software), with Brazilian wireless communication technology. The efficiency of the equipment was validated in a sprinkler irrigation system for pasture, although it can be used to control the irrigation of any crop. The proposal was to create a precision equipment to enable that the irrigation was established from the application of water in watering shifts and variable levels, instead of arbitrarily fixed criteria, characterizing the controller as an automatic irrigation system with application in variable rate. With the results we concluded that the proposed controller proved to be original and efficient in irrigation control for links up to 212 meters among its communication modules.

Key words: *Sustainability*, automation, wireless communication

INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial para a vida e ao desenvolvimento socioeconômico, conseqüentemente seu uso consciente minimiza uma possível crise hídrica. Portanto, ações urgentes devem ser implementadas no sentido de melhorar a eficiência de sua utilização. A gestão eficiente da água assume uma parte importante na agricultura (KAUR e DEEPALI, 2017). Hamdy et al. (2003) apontam que a eficiência do uso da água na agricultura é baixa, não superior a 45%.

A criação de animais a pasto representa uma parte significativa do sistema produtivo de leite e carne em diversos países como Brasil, Paquistão, Nova Zelândia e Austrália. Nos últimos anos, é crescente o interesse pela intensificação desse sistema produtivo e a irrigação é uma das práticas utilizadas com intuito de aumentar a produção e qualidade das forrageiras, principalmente, nas épocas do ano quando a estacionalidade é a principal barreira produtiva (REIS et al., 2017).

A água é o fator mais limitante a produção de forragem, o estresse gerado pelo déficit hídrico leva a senescência dos tecidos da planta, reduzindo seu valor nutricional. Além de reduzir à qualidade nutritiva da planta a falta de água diminui também a oferta de forragem, reduzindo assim a capacidade de lotação do pasto. Nesse sentido, a irrigação de pastagem durante a seca é uma alternativa que visa minimizar os efeitos causados pela falta de água no sistema de pastejo. O fornecimento adequado de água a planta permite que esta atinja seu potencial produtivo e mantenha sua qualidade nutricional (OLIVEIRA et al., 2016).

A agricultura de precisão, por meio de metodologias de automação e análise, possibilita o aumento da produtividade e a redução de impactos ambientais em áreas menores, pois o que se busca é a otimização das áreas produtivas (SILVA et al., 2017).

Rocha Neto et al. (2015) estabeleceram que a irrigação de precisão é uma estratégia para alcançar uma relação eficiente entre o volume de água utilizado e a produtividade obtida. Portanto, a irrigação de precisão é uma

forma de gerenciar a atividade agrícola, como um processo de manejo relacionado à redução otimizada de perdas, de importância estratégica e operacional e que pode ser utilizado em qualquer cultura, a fim de minimizar o efeito no meio ambiente e maximizar o retorno econômico ao produtor. Evidenciando a importância do uso da tecnologia e suas vantagens na tomada de decisão no processo de gestão. Isso é o que chamamos de pensamento global com ação local. Portanto, é a aplicação das tecnologias da informação com o objetivo de estabelecer estratégias administrativas e econômicas no sistema produtivo (RIA et al., 2015).

Neste trabalho, a irrigação de precisão foi estabelecida a partir de uma rede de sensores sem fio (WSN), composta por um nó sensor (responsável pelo monitoramento da temperatura e precipitação do ar), uma estação base (responsável pela tomada de decisões a partir do processamento de dados provenientes do Nó do Sensor) e um Nó do Atuador (responsável por acionar a bomba e as válvulas).

Sudha et al. (2011) alcançaram uma redução significativa no consumo de energia elétrica ao usar a comunicação sem fio em um sistema de irrigação. Queiroz et al. (2008) desenvolveram um sistema de radiofrequência com alcance máximo de 50 metros, para controle automático da irrigação por pivô central a partir da umidade do solo.

Na literatura são escassos os trabalhos sobre sistema de irrigação automático para pastagem com turnos de rega e lâminas variáveis. Portanto, devem-se fazer estudos desta natureza, pois possibilitarão selecionar condições mais adequadas para suprir a necessidade de irrigação em pastejo rotacionado.

Com este estudo o objetivo foi desenvolver um controlador de irrigação automático baseado em comunicação sem fio, para aplicar a água em turno de rega e lâminas variáveis, permitindo uma melhoria da eficiência do uso da água no gerenciamento da irrigação.

MATERIAL E MÉTODOS

O projeto de pesquisa foi dividido em duas etapas, ambas realizadas no Departamento de Engenharia e Ciências Exatas da FCAV/UNESP, Câmpus de Jaboticabal, SP. A primeira etapa constou do desenvolvimento do controlador, realizado no Laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento (LIAP) do Departamento citado, enquanto que a segunda etapa, constou da avaliação de transmissão/alcance entre os módulos de comunicação, realizada na área experimental do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas (S 21° 14' 29,5"; W 48° 17' 11,9"; Altitude 571m).

Ressalta-se que embora esse equipamento pudesse ser utilizado para controlar a irrigação de qualquer cultura, sua validação foi realizada para um sistema de irrigação por aspersão para pastagem, sendo que a metodologia utilizada no seu desenvolvimento do controlador possui as seguintes características:

I) O manejo da irrigação foi estabelecido via monitoramento da temperatura e da precipitação sob controle em malha fechada, a partir de um valor referencial de 20 mm, dentro da Capacidade de Água Disponível (CAD);

II) O parâmetro para a reposição de água no solo foi baseado na estimativa da evapotranspiração pelo método de Hargreaves e corrigida em relação à evapotranspiração estimada pelo método de Penman-Monteith (FAO 56);

III) A lâmina de reposição de água foi estabelecida a partir do acúmulo diário entre a evapotranspiração da cultura e a precipitação, para os quatro setores avaliados. No entanto, caso seja necessário, o controlador pode aplicar taxas variadas para os setores, independentemente um do outro, tanto no que se refere ao valor da lâmina quanto à frequência de aplicação;

IV) Sua constituição foi dividida em três módulos: Estação Base, Nó sensor e Nó Atuador.

Supervisão do controle em malha fechada

Os controladores que supervisionam os sistemas em malha fechada (Figura 1) possuem como principal característica, um sinal de saída que exerce ação de controle sob o sistema de irrigação, ou seja, cada entrada de referência de forma dinâmica, corresponde a uma condição variável de operação, portanto, o acionamento da irrigação sofre variações em função das condições climáticas.

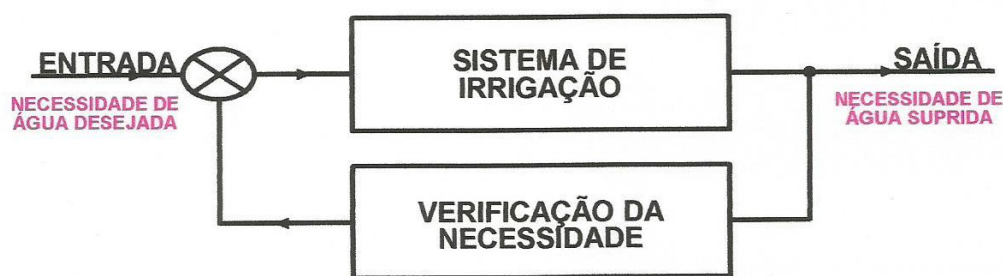


Figura 1. Representação de um sistema de controle de Irrigação em malha fechada.

Estimativa da evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves

Evapotranspiração é Soma das perdas de água por evaporação do solo e transpiração da planta, ocorrentes em uma superfície vegetada.

A evapotranspiração de referência

(ET_0) é a perda d'água de uma superfície gramada. Neste projeto de pesquisa foi utilizado o método de Hargreaves (1994) e corrigida em relação ao método de Penman-Monteith FAO56 (ALLEN et al., 2006).

Método de Hargreaves (1994)

$$ET_{oH} = 0,0023 \times \frac{R_a}{59} \times (T_{Max} - T_{Min})^{0,5} \times \left(\frac{T_{Max} + T_{Min}}{2} + 1,8 \right) \quad (1)$$

Em que: ET_{oH} - Evapotranspiração de referência, em gramado, mm dia^{-1} ; R_a - Radiação extraterrestre (mm d^{-1}); $T_{Máx}$ - Temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$); $T_{Mín}$ - Temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$)

A temperatura foi medida por um sensor com sonda de aço inoxidável e à prova d'água, fabricado pela Maxim Integrated modelo

DS18B20 (Figura 2a). Ressalta-se que a Figura 2b, trata-se de um abrigo, que sem o qual o sensor de temperatura estaria exposto diretamente aos raios solares e às precipitações, consequentemente indicando um valor de temperatura não condizente com a realidade do local.



Figura 2. Sensor de temperatura utilizado no experimento Acurácia $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ para medições entre 10°C e 85°C e abrigo do sensor de temperatura.

Quanto à radiação solar extraterrestre, seus valores foram obtidos em função da latitude local, a partir dos dados interpolados de Napier Shaw, citado por Turco e Chaves (2018), tendo como parâmetro máximo da atmosfera, o 15° dia de cada mês entre as latitudes 10°N e 40°S .

Uma vez estimada a evapotranspiração de referência, seu valor foi corrigido em função da equação do modelo linear proposto por Turco (2019) ao ser obtido após uma análise de correlação dos valores diários de ET_o entre os métodos de Hargreaves e Penman-Monteith para as condições climáticas do município de Jaboticabal/SP.

Estimada a evapotranspiração de referência pelo método de Hargreaves e correlacionando-a com o método de Penman-Monteith, calculou-se a evapotranspiração da cultura (K_C) pela Equação 2:

$$ET_C = ET_{oH} \times K_C \quad (2)$$

Em que: ET_C - Evapotranspiração da forrageira (mm d^{-1}); ET_{oH} - Evaporanspiração de referência (mm d^{-1}); K_C - Coeficiente da forrageira (adimensional)

O coeficiente de cultura (K_C) da forrageira foi fixado em 0,8 conforme proposto por Allen et al. (2006), pois foi considerado que o sistema seria de pastejo rotacionado.

Calibração dos sensores

Dada a importância dos valores medidos para a estratégia de controle, foi realizado um procedimento de calibração dos sensores de temperatura e de precipitação no Laboratório de Instrumentação Meteorológica (LIM) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), situado no município de Cachoeira Paulista, estado de São Paulo.

As calibrações dos sensores de temperatura e de precipitação foram realizadas buscando atender o padrão que possui rastreabilidade ao NVLAP – National Voluntary Laboratory Accreditation Program, dos EUA e um sistema que tem rastreabilidade

à Rede Brasileira de Calibração, RBC, do Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, INMETRO.

Valor da lâmina de reposição da água

A curva de retenção representa a variação do conteúdo de água e seu potencial no solo e como cada um possui seu comportamento característico, consequentemente cada um apresentará sua capacidade específica. Portanto, justifica-se a necessidade de conhecermos o intervalo entre os limites máximo (capacidade de campo) e mínimo (ponto de murcha permanente) da umidade do solo, no intuito de estabelecermos um parâmetro de disponibilidade hídrica a ser utilizada, sem afetar a produtividade da forrageira.

Arruda et al. (1987) sugerem que a análise da retenção da água no solo seja realizada por meio de teores de silte e argila, pois é um método relativamente simples e de custo baixo para o produtor, podendo ser realizado em qualquer laboratório de análise física do solo, ao contrário da análise realizada pelo método da câmara de pressão de Richards, considerado um método clássico, mas que na maioria das ve-

zes, somente pode ser realizado em laboratórios específicos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO**Tarefas executadas pelo controlador**

O controlador desenvolvido utiliza tecnologia brasileira de comunicação sem fio (BE 900) e supervisiona toda a área a ser irrigada com dois sensores (temperatura e precipitação). Outra característica, é que caso seja detectada alguma precipitação durante o acionamento de um dos setores, além de desligar o sistema de irrigação (bomba e válvulas), no dia seguinte ele desconta da evapotranspiração da cultura, a quantidade de água precipitada, bem como acrescenta a quantidade de água restante que deveria ter sido aplicada no dia anterior, mas que foi interrompida devido à precipitação. As equações utilizadas nos cálculos da lâmina acumulada (reposição) e no tempo de irrigação, podem ser visualizadas abaixo:

Temperaturas máxima e mínima, corrigidas em função da calibração:

$$T_{\text{Min}} \text{ corrigida} = (T_{\text{Min}} \times 1,0215) + 0,0113 \quad (3)$$

$$T_{\text{Máx}} \text{ corrigida} = (T_{\text{Máx}} \times 1,0215) + 0,0113 \quad (4)$$

Evapotranspiração estimada pelo método de Hargreaves:

$$ET_{\text{OH}} = 0,0023 \times \frac{R_a}{59} \times (T_{\text{Max}} - T_{\text{Min}})^{0,5} \times \left(\frac{T_{\text{Max}} + T_{\text{Min}}}{2} + 1,8 \right) \quad (5)$$

Evapotranspiração de Hargreaves corrigida para o município de Jaboticabal:

$$ET_{\text{OH}} \text{ corrigida do dia} = (ET_{\text{OH}} \text{ do dia} \times 1,0398) - 1,0385 \quad (6)$$

Evapotranspiração da cultura com um coeficiente fixo no valor de 0,8:

$$ET_{\text{C}} \text{ do dia} = ET_{\text{OH}} \text{ corrigida do dia} \times 0,8 \quad (7)$$

Precipitação do dia:

$$\text{Precipitação}_{\text{do dia}} = N^{\circ} \text{ de basculadas} \times 0,49 \quad (8)$$

Após o processo de calibração, a resolução encontrada para cada basculada do pluviômetro, foi de 0,49:

Ressalta-se que para fins de cálculo, a precipitação é quantificada sempre de um dia

Lâmina do dia:

$$\text{Lâmina do dia} = \text{ETC do dia} - \text{Precipitação do dia} \quad (9)$$

Se a lâmina do dia for < 0 , a lâmina acumulada para o dia seguinte será zero

Lâmina acumulada:

$$\text{Lâmina acumulada} = \sum \text{Lâmina dos dias} \quad (10)$$

Se a lâmina acumulada for ≥ 20 mm \rightarrow inicia-se a irrigação

Lâmina efetiva aplicada:

$$\text{Lâmina efetiva aplicada} = \frac{\text{Lâmina acumulada}}{\text{Eficiência de aplicação}} \quad (11)$$

Tempo de irrigação:

$$\text{Tempo de irrigação} = \frac{\text{Lâmina efetiva aplicada}}{\text{Intensidade de aplicação}} \quad (12)$$

Partes integrantes do controlador

O controlador possui três módulos de comunicação por radiofrequência (Nós), constituindo uma pequena rede de sensores sem fio (WSN) baseada na plataforma Rádiumino (tecnologia brasileira) e desenvolvida para operar em um sistema de

para o outro, especificamente entre às 22h01 e 21h59. Portanto, uma ocorrência até às 21h59 é contabilizada nos cálculos do mesmo dia, enquanto que uma precipitação às 22h01 é contabilizada nos cálculos do dia seguinte.

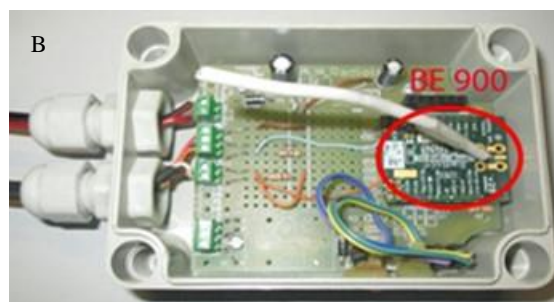
irrigação por aspersão convencional:

Nó Sensor

Responsável pela aquisição das informações de temperatura e precipitação e conseqüentemente envio à estação Base (Figuras 3a e 3b).



Figura 3. Nó sensor.



Estação Base

Responsável processamento dos dados (visualização em tempo real das informações enviadas pelo Nó Sensor (Figuras 4a e 4b), tomada de decisão e conseqüentemente envio

ao Nó Atuador (Figuras 5a e 5b).

Nó Atuador

Responsável pelo acionamento da bomba e das válvulas (Figuras 5a e 5b).

Controlador de irrigação, baseado na aplicação de água em turnos de rega e lâminas variáveis

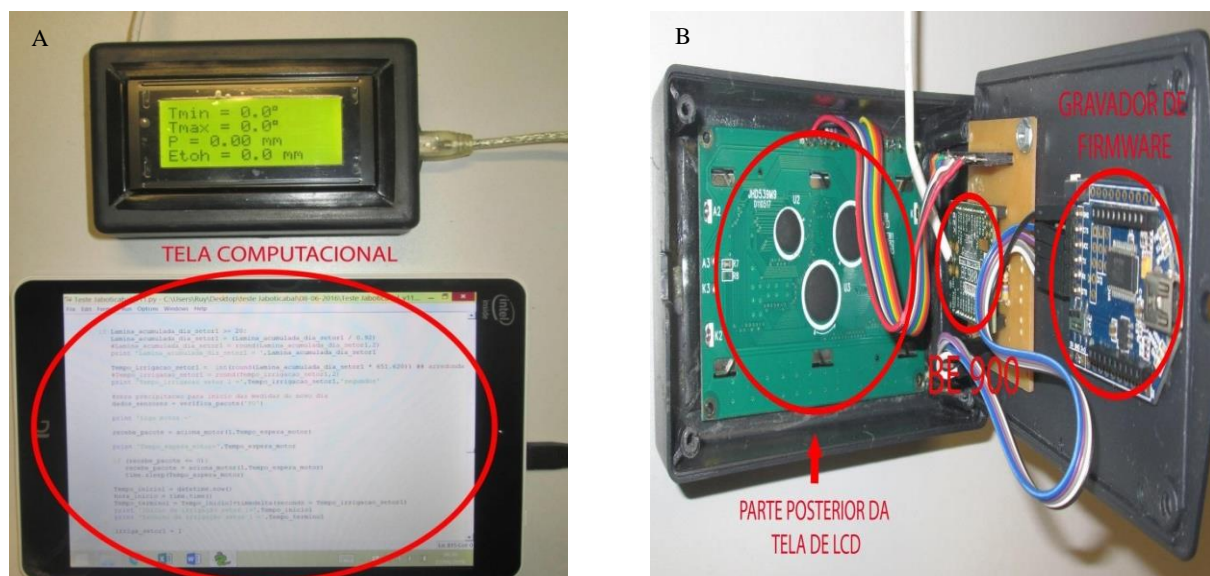


Figura 4. Estação base.

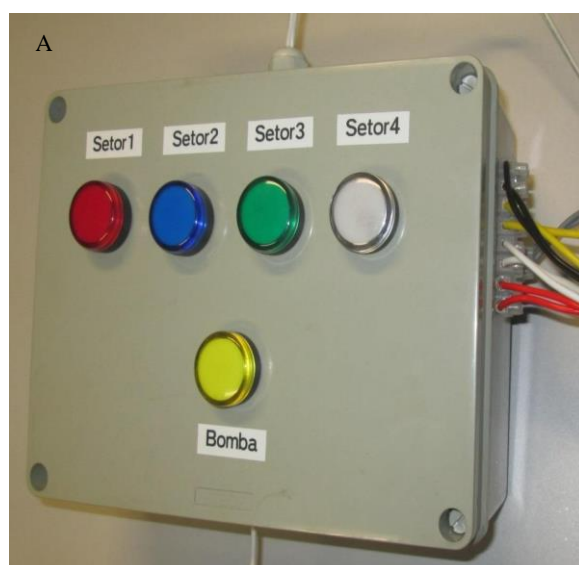


Figura 5. Nó atuador.

Plataforma Rádiuino – BE 900

O objetivo principal de uma rede de sensores sem fio (WSN) é realizar o monitoramento distribuído em uma determinada área, por isso é uma rede composta por sensores autônomos com aplicações específicas e cuja comunicação entre seus nós (sensores, base e atuadores) é realizada por radiofrequência (RF) baseada em alguma plataforma de comunicação. Neste trabalho, o WSN desenvolvido utilizou uma plataforma de comunicação brasileira chamada “Radiuino”, que possui o mesmo IDE (Ambiente de Desenvolvimento

Integrado) do Arduino e além de permitir que a Estação Base seja conectada a um computador via USB ou internet, o hardware (Figura 6) é de baixo custo e seu código-fonte pode ser alterado por qualquer pessoa (código-fonte aberto). Os resultados obtidos com a tecnologia de comunicação sem fio utilizada neste trabalho corroboram com os obtidos por Cavalcante et al. (2020) que utilizaram uma rede de sensores sem fio para monitoramento remoto de umidade de solo em plantações de fruticultura irrigada, em uma estação terrestre por meio de comunicação sem fio para controle de irrigação de precisão.

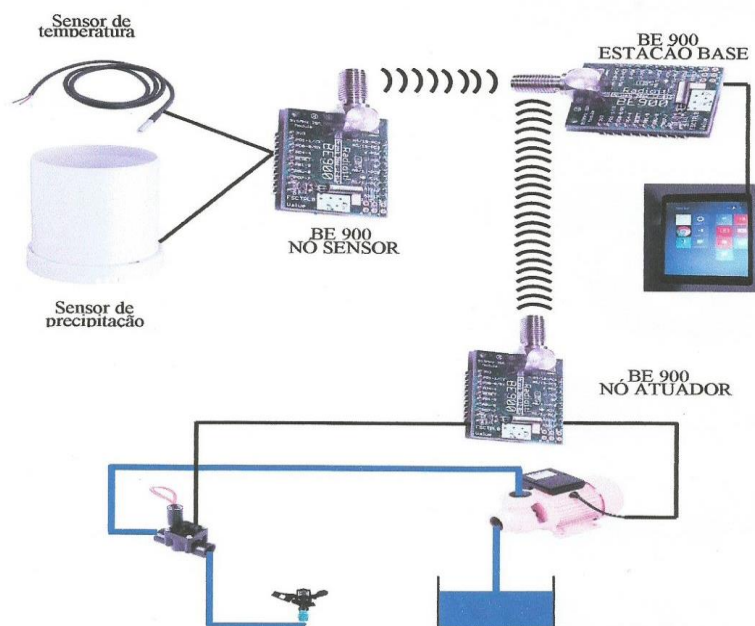


Figura 6. Aplicação da plataforma Radiuino (BE 900)

A comunicação entre os módulos (nós) é estabelecida por meio de firmwares e software de gerenciamento. Firmware é um programa de computador armazenado na memória de um circuito integrado cuja função é controlar o hardware (BE 900) por meio de uma sequência de instruções.

Neste trabalho, foram utilizados três BE 900s com diferentes funções: detecção da variável de controle (Nó Sensor), supervisão e processamento (Estação Base) e execução da ação de controle (Nó do Atuador). O software usado para controlar os dados foi o Python (Figura 7), e é por meio disso que o controle do roteamento de dados é realizado: o nó Sensor envia um pacote de dados para a Estação Base, a Estação Base trata as informações, imprime na tela do tablet e, se for o caso, envia um pacote de dados ao nó do atuador para ativar ou desativar a bomba / válvula.

Uma vez definida todas as equações a serem executadas pelas rotinas do controlador, em cada firmware dos módulos de comunicação (Nó Sensor, Nó Atuador e Estação Base), determinou-se os testes de avaliação do modelo matemático, da eficiência de controle e do alcance de comunicação:

Teste 1: sistema de irrigação sem ocorrência de precipitação;

Teste 2: sistema de irrigação com precipitação menor do que a lâmina acumulada do dia;

Teste 3: sistema de irrigação com precipitação maior do que a lâmina acumulada do dia;

Teste 4: sistema de irrigação com precipitação durante o acionamento do setor 1;

Teste 5: avaliação de alcance entre os módulos de comunicação.

Os testes de avaliação do modelo matemático e da eficiência de controle foram realizados dentro do laboratório de Instrumentação, Automação e Processamento (LIAP) do Departamento de Engenharia e Ciências Exatas. Sendo assim, no intuito simular a ambiência externa no sensor de temperatura, foi utilizado o equipamento de Banho Maria para elevar a temperatura da água e posteriormente água fria para reduzir. Outro aspecto a ser ressaltado é que o acionamento do sistema de irrigação foi considerado sempre no período noturno, devido a uma menor incidência de ventos, bem como tarifação da energia elétrica, desta forma é possível alcançarmos uma maior eficiência de aplicação.


```

74 Teste Jaboticabal_v12.py - C:\Users\Ruy\Desktop\teste Jaboticaba\08-06-2016\Teste Jaboticabal_v12...
File Edit Format Run Options Windows Help

| if inicia_setor1 == 1:

    print 'Lamina_dia_anterior_setor1 = ',Lamina_dia_anterior_setor1

    Lamina_acumulada_dia_setor1 = (Etc_dia - Prec_corrigida) + Lamina_dia_anterior_setor1
    print 'Lamina_acumulada_dia_setor1',Lamina_acumulada_dia_setor1

    if Lamina_acumulada_dia_setor1 < 0:
        Lamina_acumulada_dia_setor1 = 0

    Lamina_dia_anterior_setor1 = Lamina_acumulada_dia_setor1
    print 'Lamina_dia_anterior_setor1',Lamina_dia_anterior_setor1

    if Lamina_acumulada_dia_setor1 >= 20:
        Lamina_acumulada_dia_setor1 = (Lamina_acumulada_dia_setor1 / 0.92)
        print 'Lamina_acumulada_dia_setor1 = ',Lamina_acumulada_dia_setor1

        Tempo_irrigacao_setor1 = int(round(Lamina_acumulada_dia_setor1 * 651.620))
        print 'Tempo_irrigacao setor 1 = ',Tempo_irrigacao_setor1,'segundos'

        print 'Liga motor ='

        recebe_pacote = aciona_motor(1,Tempo_espera_motor)

        print 'Tempo_espera_motor=',Tempo_espera_motor

```

Figura 7. Parte da programação desenvolvida.

Calibração dos sensores

A metodologia utilizada na calibração do sensor de temperatura foi baseada na comparação direta com um valor padrão de referência, por meio de uma câmara climática do fabricante Cincinnati Sub Zero, modelo ZPH-16-1.5HAC, onde foram realizadas

quinze medidas a cada sessenta segundos para cada ponto de calibração na seguinte sequência: 20 °C, 30 °C, 40 °C e 10 °C, sendo informados os valores médios e utilizando-se uma câmara climática como meio de calibração (Figura 8 e Figura 9).

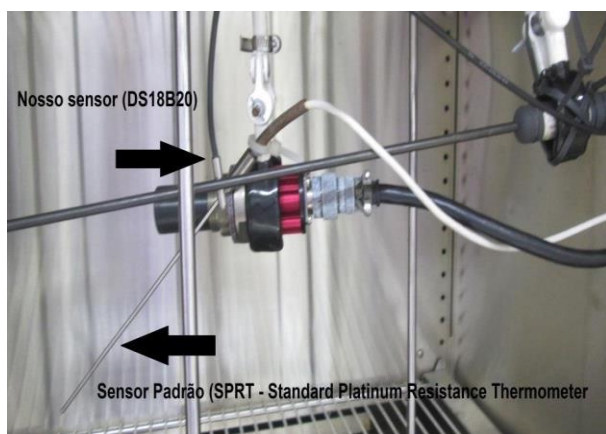


Figura 8. Processo de calibração do sensor de Temperatura

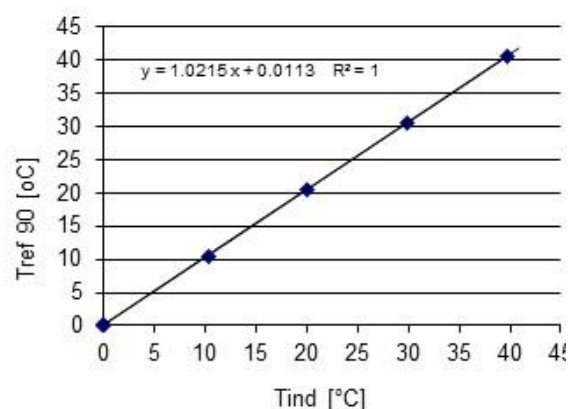


Figura 9. Correlação entre os valores de temperatura obtidos pelo sensor

A calibração do sensor de precipitação (Figura 10) foi baseada na simulação de um mesmo valor de precipitação, 227 ml, porém com intensidades diferentes: 2 RPM, 5 RPM e

15 RPM (rotações por minuto), com quatro repetições cada uma delas. Ressalta-se que nesse caso específico, a preocupação foi com precipitações abaixo de 20 mm, pois acima

desse valor, a chuva supriria a necessidade de irrigação.



Figura 10. Calibração do Pluviômetro, Resolução nominal = 0,45 mm e Resolução média = 0,49 mm

Avaliação do alcance de comunicação entre os módulos

Foram realizados testes de alcance entre os rádios (Nó Sensor, Estação Base e Nó Atuador) nas distâncias 50, 100, 150 e 200 metros, no intuito de avaliar o sistema de transmissão e recepção de dados. O sistema de comunicação se mostrou eficiente, possibilitando o acionamento de todos os setores com confiabilidade e integridade dos dados, porém a partir de 212 metros não houve sincronismo entre os módulos de comunicação (perda de pacote de dados). Ressalta-se que essa distância foi medida a partir de uma estação total de alta precisão do fabricante Leica Geosystems, modelo TS06.

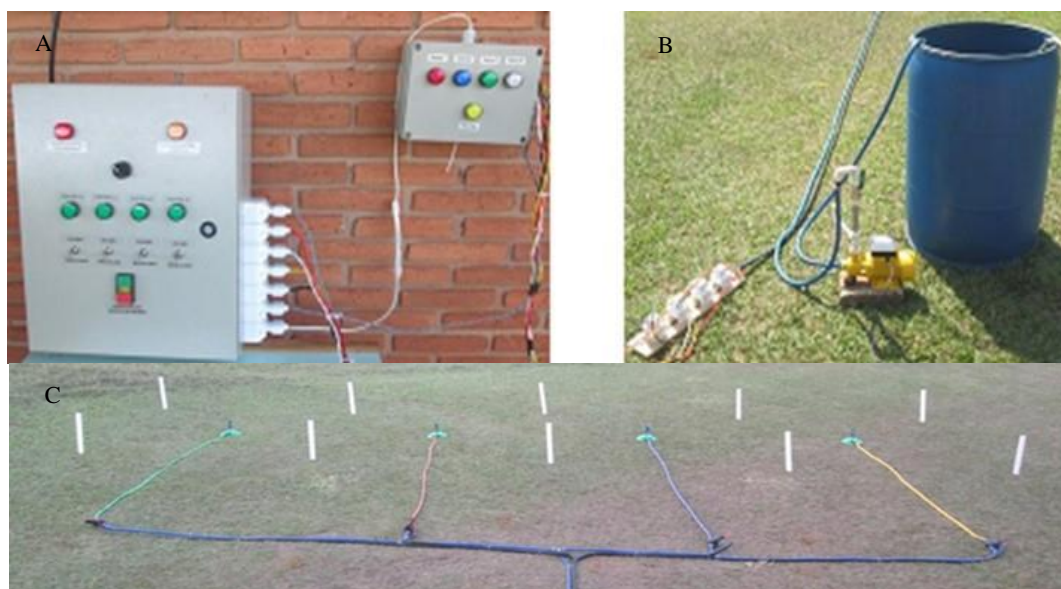


Figura 11. Estrutura dos testes realizados à campo.

Gutierrez et al. (2014) desenvolveram um sistema irrigação automatizado. O sistema possui uma rede sem fio distribuída de sensores de umidade e temperatura do solo colocados na zona da raiz das plantas. Além disso, uma unidade de gateway lida com informações do sensor, aciona atuadores e

transmite dados para um aplicativo da web. Um algoritmo foi desenvolvido com valores limites de temperatura e umidade do solo que foi programado em um gateway baseado em microcontrolador para controlar a quantidade de água.

Tabela 1. Características do aspersor utilizado 5035 – 4,5 x 2,5 com espaçamento 18 x 18 m.

| Sleeve color | Nozzle color (mm) | P (bar) | Q (m ³ /h) | D (m) | Spacing (m) | | | | | |
|--------------------------------------|-------------------|---------|-----------------------|-------------|-------------|----------|---------|---------|---------|---------|
| | | | | | 12 x 15 | 12 x 18 | 15 x 15 | 15 x 18 | 18 x 18 | 20 x 20 |
| Red | 3.5x2.5 Blue | 3 | 1.240 | 27.2 | 6.9 | 5.7 | 5.5 | 4.6 | 3.8 | 3.1 |
| | | 4 | 1.430 | 27.2 | 7.9 | 6.6 | 6.4 | 5.3 | 4.4 | 3.6 |
| | | 5 | 1.620 | 27.2 | 9.0 | 7.5 | 7.2 | 6.0 | 5.0 | 4.1 |
| | 4.0x2.5 Blue | 3 | 1.490 | 28.0 | 8.3 | 6.9 | 6.6 | 5.5 | 4.6 | 3.7 |
| | | 4 | 1.740 | 29.0 | 9.7 | 8.1 | 7.7 | 6.4 | 5.4 | 4.4 |
| | | 5 | 1.950 | 29.2 | 10.8 | 9.0 | 8.7 | 7.2 | 6.0 | 4.9 |
| Black | 4.5x2.5 Brown | 3 | 1.790 | 29.7 | 9.9 | 8.3 | 8.0 | 6.6 | 5.3 | 4.5 |
| | | 4 | 2.070 | 30.2 | 11.5 | 9.6 | 9.2 | 7.7 | 6.4 | 5.2 |
| | | 5 | 2.320 | 32.2 | 12.9 | 10.7 | 10.3 | 8.6 | 7.2 | 5.8 |
| | 5.0x2.5 Purple | 3 | 2.110 | 31.5 | 11.7 | 9.8 | 9.4 | 7.8 | 6.5 | 5.3 |
| | | 4 | 2.400 | 33.2 | 13.3 | 11.1 | 10.7 | 8.9 | 7.4 | 6.0 |
| | | 5 | 2.690 | 35.2 | 14.9 | 12.5 | 12.0 | 10.0 | 8.3 | 6.7 |
| | 5.5x2.5 Orange | 3 | 2.390 | 32.2 | 13.3 | 11.1 | 10.6 | 8.9 | 7.4 | 6.0 |
| | | 4 | 2.760 | 34.2 | 15.3 | 12.8 | 12.3 | 10.2 | 8.5 | 6.9 |
| | | 5 | 3.090 | 35.0 | 17.2 | 14.3 | 13.7 | 11.4 | 9.5 | 7.7 |
| | 6.0x2.5 Red | 3 | 2.700 | 34.2 | 15.0 | 12.5 | 12.0 | 10.0 | 8.3 | 6.8 |
| | | 4 | 3.160 | 36.0 | 17.6 | 14.6 | 14.0 | 11.7 | 9.8 | 7.9 |
| | | 5 | 3.540 | 34.0 | 19.7 | 16.4 | 15.7 | 13.1 | 10.9 | 8.9 |
| Color code – Distribution uniformity | | | CU > 92% | CU 88 - 92% | CU 85 - 88% | CU < 85% | | | | |

Fonte: Naandanjain

O sistema automatizado foi testado em um campo de cultivo de sálvia por 136 dias e foi obtida economia de água em comparação com as práticas tradicionais de irrigação. O controlador de irrigação desenvolvido neste trabalho difere do desenvolvido por Gutierrez et al. (2014), não utilizando sensores de umidade do solo devido a impactos do pisoteio animal em áreas de pastagem.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados, conclui-se que o controlador sem fio desenvolvido apresentou-se original, no que se refere à variabilidade da aplicação das lâminas de irrigação em cada setor e eficiente no que se refere ao controle propriamente dito e à confiabilidade e integridade dos dados, concluindo que o equipamento tem grande possibilidade de utilização no controle da irrigação para enlances de até 212 metros entre seus módulos de comunicação, com total liberdade de aplicação da água em turnos de rega e lâminas variáveis, possibilitando uma melhoria da eficiência de utilização na gestão da irrigação.

REFERÊNCIAS

- ALLEN, R.G.; PEREIRA, L.S.; RAES, D.; SMITH, M. **Evapotranspiration del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos**. Roma: FAO, 2006. 298 p. (Estudio FAO Riego e Drenaje, 56).
- ARRUDA, F.B.; ZULLO JUNIOR, J.; OLIVEIRA, J. B. Parâmetros de solo para o cálculo da água disponível com base na textura do solo. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v.11, n.1, p.11-15, 1987.
- CAVALCANTI, A.J.F.N.; CORREIA, F.P.; BRITO, J. A. Validação de uma rede de sensores sem fio aplicada à fruticultura irrigada do vale do São Francisco. **Brazilian Applied Science Review**, v.4, n.5, p.2763-2780, 2020.
- GUTIERREZ, J.; VILLA-MEDINA., J. F.; NIETO-GARIBAY, A.; PORTA-GANDARA, M. A. Automated irrigation system using a wireless sensor network and GPRS module. **IEEE Transactions on Instrumentation and**

Measurement, v.63, n.1, p. 166–176, 2014.

HAMDY, A.; RAGAB, R.; SCARASCIA-MUGNOZZA, E. Coping with water scarcity: water saving and increasing water productivity. **Irrigation and Drainage**, North Carolina, v.52, n.1, p.3-20, 2003.

HARGREAVES, G.H. Defining and using reference evapotranspiration. **Journal of Irrigation and Drainage Engineering**, v.120, n.6, p.1132-1139, 1994.

KAUR, S.; DEEPALI. A survey on automatic irrigation system using wireless sensor network. **International Journal of Current Engineering and Scientific Research**, Kolkata, v.4, n.8, p.68-80, 2017.

QUEIROZ, T.M.; BOTREL, T.A.; FRIZZONE, J.A. Desenvolvimento de software e hardware para irrigação de precisão usando pivô central. **Engenharia Agrícola**. v.28, n.1, p.44-54, 2008.

OLIVEIRA, V.S.; MORAIS, J.A.S.; FAGUNDES, J.L.; LIMA, I.G.S.; SANTANA, J.C.S.S.; SANTOS, C.B. Efeito da irrigação na produção e qualidade de pastagens durante o período da seca. **Revista Científica de Medicina Veterinária**, São Paulo, v.26, p.1-10, 2016.

REIS, M.M.; SANTOS, L.D.T.; OLIVEIRA, F.G.; SANTOS, M.V. Irrigação de pastagens tropicais: desafios e perspectivas. **Revista Unimontes Científica**, Montes Claros, v.19, n.1, p.178-190, 2017.

RIA, W.O.; CRUZ, J.C.; FASCINA, M.N.; KOVALESKI, J.L. Tecnologias aplicadas ao agronegócio: agricultura de precisão. **Revista Gestão do Conhecimento**. v.6, p.1-18, 2015.

ROCHA NETO, O.C.; TEIXEIRA, A.S.; BRAGA, A.P.S.; SANTOS, C.C.; LEÃO, R.A.O. Aplicação de redes neurais artificiais como alternativa ao balanço hídrico volumétrico no manejo de irrigação por gotejamento em melancia. **Engenharia Agrícola**. v.35, n.2, p.266-278, 2015.

SILVA, K.E.; BARRETO, T.S.C.P.; SHINOHARA, N.K.S.; ANDRADE, J.S.C.O.; COELHO JUNIOR, J.M. Precision Agriculture in the Promotion of Sustainable Development. *Revista Geama*, v.3, n.2, p.42-46, 2017.

SUDHA, M.N.; VALARMATHI, M.L.; BABU, A.S. Energy efficient data transmission in automatic irrigation system using wireless sensor networks. **Computers and Electronics in Agriculture**, v.78, n.2, p.215-221, 2011.

TURCO, J.E.P.; CHAVES, L.H. Evapotranspiração de referência pelas equações de Hargreaves na Mesorregião de Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba. **Revista brasileira de agricultura irrigada – RBAI**, Fortaleza-CE, v.12, n.5, p.2964-2975, 2018.

TURCO, J.E.P. Estimativa da evapotranspiração de referência com precisão. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v.27, n.2, p.132-141, 2019.