

“ Sistema de monitoramento automático das características hídricas do solo de cafezais visando otimização da irrigação

▮ Elton Flávio de Andrade **Lima**

▮ Mateus **Falcão**

▮ Henrique de Sá **Paye**
INCAPER

▮ Adalto dos **Reis Junior**
IFES

▮ Lucas Vago **Santana**
IFES

▮ Erlon **Cavazzana**
IFES

RESUMO

O estresse hídrico em cafeiculturas pode implicar em mais de 80% de perda de produtividade. Esse problema afeta tanto a qualidade do produto quanto a dinâmica de preços e comercialização. Nesse sentido, a coleta de informações sobre o solo torna o manejo hídrico mais eficiente e minimiza o impacto ambiental. Consoante a isso, o presente trabalho objetivou aplicar as tecnologias de baixo custo e baixo consumo de energia, a partir de implementações IoT, a fim de atender a necessidade de tornar a coleta de dados agrícolas mais dinâmica e autônoma, visando a economia de água e energia nesse processo. Foi realizada a construção de um equipamento de leitura e transmissão da pressão atual do solo através do sensor MPX5700DP, do microcontrolador Esp8266 e módulos LoRa de comunicação via rádio. Além dessas ferramentas, utilizou-se tecnologias como HTML, PHP, MySql e outras mais para o desenvolvimento de uma interface web de clara exibição das informações. Resultou-se disso, um sistema autônomo de coleta, transmissão, armazenamento e exibição das leituras da pressão do solo em tempo real. Esse sistema se assemelha a outros constantes na literatura quanto a presença de um sensor eletrônico embarcado em um equipamento analógico como o tensiômetro à vácuo. Este, se distingue e destaca quanto a sua característica IoT, que automatiza as rotinas de leitura tornando as informações mais acessíveis para as tomadas de decisão. Além disso, o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo reflete a preocupação com os pequenos produtores, raramente atendidos pelos produtos de automação de alto custo comercializados atualmente.

Palavras-chave: Internet das Coisas, Manejo Hídrico, Produtividade Agrícola, Cafeicultura, Automação Agrícola.

INTRODUÇÃO

O estresse hídrico em cafeiculturas pode implicar em mais de 80% de perda de produtividade. Esse problema afeta tanto a qualidade do produto quanto a dinâmica de preços e comercialização (Damatta, Ramalho, 2006). A irrigação é a principal atividade hídrica nesse tipo de plantação, já que é necessário manter a produção mesmo fora dos períodos de chuva ou em regiões mais áridas. Contudo, a expansão da irrigação demanda que tais sistemas operem em alto nível de eficiência a fim de minimizar as perdas de água. Partindo disso, conclui-se que a irrigação no momento apropriado e na quantidade adequada, juntamente com a escolha correta do sistema de irrigação, são os fatores que determinam o sucesso da produção agrícola.

Para além dos benefícios para a produtividade da cultura estão os benefícios ambientais de uma irrigação eficiente. Redução do gasto de água e energia, diminuição na perda de nutrientes por lixiviação e a redução no uso de agroquímicos, são exemplos dos benefícios ambientais proporcionados por uma otimização dos sistemas de irrigação.

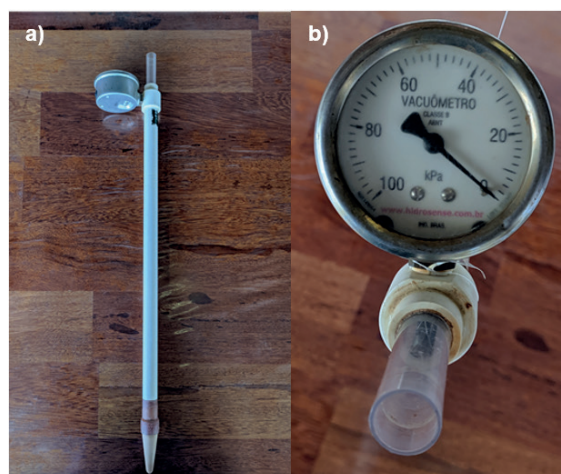
A análise da necessidade de irrigação é realizada observando a umidade do solo, visando determinar a quantidade de água disponível para as plantas. Os principais métodos para essa análise são: o padrão de estufa, que fornece de forma direta os valores de umidade do solo, e os indiretos, que necessitam de calibração e tomam como base medidas de moderação de nêutrons, da resistência do solo à passagem de corrente elétrica, da constante dielétrica do solo e da tensão da água no solo.

Entre os métodos indiretos, destaca-se o método tensiométrico, que devido ao seu custo relativamente baixo de equipamento e sua facilidade na instalação, operação e manutenção, têm sido preferido entre os produtores rurais.

Segundo Teixeira & Coelho, o tensiômetro (Figura 1) foi proposto em 1922 por Gardner e colaboradores, com a finalidade de mensurar de forma direta o potencial de água no solo e de forma indireta a umidade. Composto basicamente de um sistema de tubulação e um medidor de pressão vedados e conectados a uma membrana porosa, pela qual uma certa quantidade de água armazenada na tubulação escoar em um processo de sucção dessa água pelo solo. Essa sucção da água pelo solo produz um vácuo na tubulação que é mensurado pelo medidor de pressão.

Esse equipamento mensura a “força” com que a água é retida pelo solo, a qual afeta a absorção da água pelas plantas. Com essa informação é possível determinar o momento apropriado para realizar a irrigação e indiretamente estimar a lâmina (quantidade) de água a ser aplicada. Segundo Camargo et al (1982), os tensiômetros anaeróides mais comuns são os de vacuômetro metálico tipo Bourdon, de coluna de mercúrio e de punção.

Figura 1. Tensiômetro a) perspectiva frontal; b) perspectiva topo.



Apesar de ser amplamente utilizado na agricultura, o tensiômetro é um equipamento com algumas desvantagens. Uma dessas desvantagens é a necessidade de deslocamento até o equipamento para aferir a pressão. Além do deslocamento, os registros das pressões são feitos manualmente, de modo que os dados coletados ficam sujeitos a falha humana.

Por conta disso, foi idealizado um sistema automático de monitoramento de características hídricas do solo de cafezais e transmissão de dados com o intuito de minimizar a necessidade de deslocamento para leitura, automatizar os registros e proteger as informações relevantes para um bom manejo hídrico na irrigação.

No entanto, a partir dessa solução surgiu uma nova demanda: apresentar os dados de maneira amigável e compatível com smartphones e computadores, embarcados em um sistema seguro de armazenamento de dados. Assim, foi idealizada uma interface utilizando tecnologias web e de banco de dados para complementar a solução para o problema inicial. Acredita-se que com o aumento da disponibilidade de informação, as estratégias de manejo hídrico serão cada vez mais eficientes proporcionando uma grande economia de água e energia.

OBJETIVO

- Desenvolver um sistema automático de monitoramento das características hídricas do solo de cafezais, utilizando sensor tensiométrico, visando a economia de água e de energia na irrigação.
- Realizar leituras automáticas dos dados visando o controle da irrigação;
- Desenvolver uma interface amigável para exibição dos dados coletados;
- Armazenar adequadamente os dados coletados pelo sensor;
- Emitir relatórios para impressão.

MÉTODOS

A construção desse sistema envolveu o desenvolvimento do hardware e do software. A construção do software foi dividida em três etapas, enquanto a construção do hardware foi dividida em quatro etapas.

Desenvolvimento da Interface

Nessa etapa foi idealizado um sistema web com autenticação e registro de usuários e com estilo visual de Dashboard. Uma barra de menu lateral foi inserida para navegação entre as páginas de Dashboard, onde são exibidos os gráficos e tabelas, Relatórios, onde são pré-configurados e emitidos os relatórios, Configurações, onde é possível editar as configurações visuais dos gráficos. No desenvolvimento foi utilizada o IDE Visual Studio Code e uma API para exibição dos gráficos como pode ser visto na Figura 2.

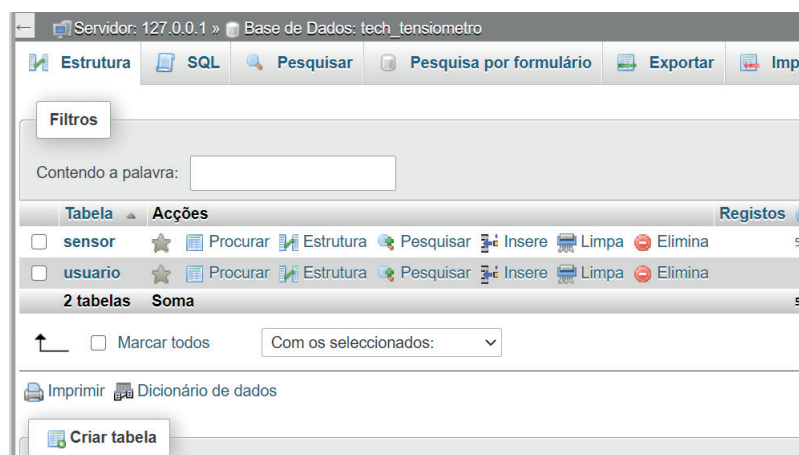
Figura 2. Desenvolvimento da interface.

```
<body>
  <div class="flex-dashboard">
    <div id="sidebar">
      <div class="sidebar-title">
        
        <h2>Tensiômetro</h2>
      </div>
      <div class="menu">
        <ul>
          <li>
            <i class="fas fa-chart-line"></i>
            <a href="dashboard.php">DASHBOARD</a>
          </li>
          <li>
            <i class="far fa-clipboard"></i>
            <a href="relatorios.php">RELATÓRIOS</a>
          </li>
          <li>
            <i class="fas fa-cog"></i>
            <a href="configuracoes.php">CONFIGURAÇÕES</a>
          </li>
        </ul>
      </div>
    </div>
  </div>
```

Criação do Banco de Dados

Nessa etapa foi idealizado um banco de dados não relacional, composto de uma tabela para usuários, contendo nome, e-mail, login e senha, e uma tabela para as leituras do sensor, contendo id da leitura, valor da leitura, data e hora do momento da leitura (Figura 3). Ainda, foram desenvolvidos códigos em PHP para conexão e inserção dos registros no banco de dados.

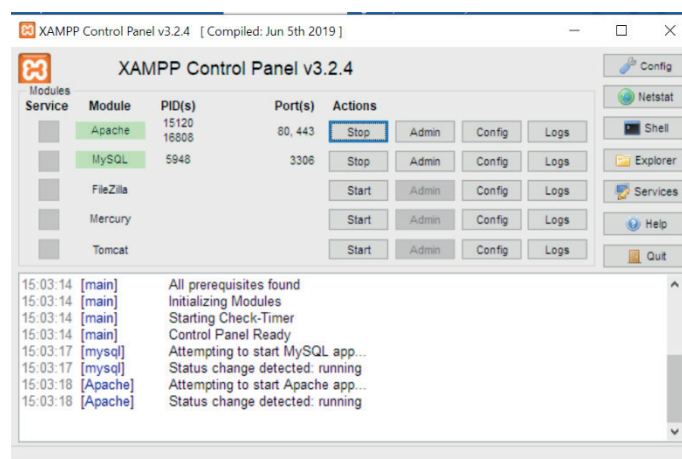
Figura 3. Phpmyadmin ferramenta de gerenciamento de banco de dados.



Construção do Servidor

O servidor foi configurado em dois sistemas operacionais diferentes, Windows e Raspbian. Idealmente o servidor deve ser configurado em uma placa Raspberry Pi com sistema operacional Raspbian. No entanto, foi necessário importar essa placa e para evitar atrasos um servidor de testes pré-operacionais (Figura 4) foi configurado, em sistema operacional Windows.

Figura 4. Xaamp rodando Apache Server e MySQL.

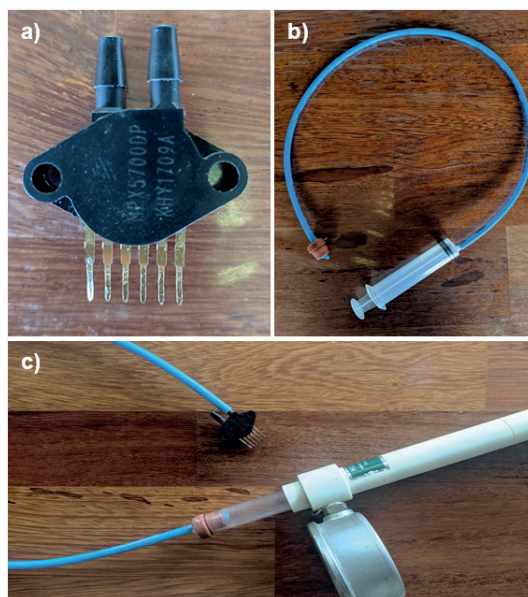


Definição da Variável de Monitoramento

A variável de monitoramento escolhida foi a pressão com que a água é retida pelo solo, pois através dela obtém-se a taxa com que as plantas de café absorvem a água do solo. Coelho (2003), seleciona o sensor MPX5100 DP na construção de um tensiômetro eletrônico, similar ao idealizado no presente trabalho. Dessa forma o sensor de pressão MPX5700 DP (Figura 5. a) foi selecionado para monitorar a pressão do solo, utilizando tensiômetro de vacuômetro como estrutura para acoplamento do sensor e uma mangueira

flexível de 4mm de diâmetro (Figura 5. b), conectando entrada de pressão do sensor com extremidade superior do tensiômetro conforme a Figura 5. c.

Figura 5. a) Sensor de pressão MPX5700 DP; b) mangueira de conexão; c) conexão do sensor com o tensiômetro.



No início foram feitos testes simulados com o sensor de pressão MPX5700DP para comparação dos valores encontrados com os fornecidos pelo manual do fabricante. O valor de offset de pressão mínima nominal encontrado na prática foi 0,185 Vdc enquanto no manual esse valor típico é 0,2 Vdc com variação desde 0,088 Vdc até 0,409 Vdc. A sensibilidade é descrita pelo fabricante como sendo 6,4mV/kPa e a tensão de alimentação como sendo 5V. Tendo em vista que o valor lido pela entrada analógica do ESP8266 varia de 0 a 1023, sendo que 0 é resposta a 0V de entrada e 1023 a 5V foi possível estabelecer uma relação de conversão de entrada analógica para pressão em kPa.

Transmissão, Armazenamento e Provedimento de Dados

A transmissão dos dados coletados no equipamento até o servidor foi realizada através de módulos LoRa (Long Range Transceiver Module), uma tecnologia de rede de área ampla, baixa potência e comunicação via rádio (LPWAN). Assim, foi construído um circuito transmissor para estar acoplado aos tensiômetro e ao sensor de pressão e um circuito receptor, próximo ao servidor, permitindo, por conta dos módulos LoRa a comunicação entre os circuitos em distâncias até 6,5 km, com uma frequência de comunicação de 433Mhz (dentro da faixa de frequência autorizada pela ANATEL para esse tipo de aplicação).

Quando as leituras chegam ao circuito receptor são submetidos ao banco de dados. Para isso, é necessária uma rede de comunicação entre o circuito e o servidor. Essa rede foi montada estabelecendo a conexão do circuito receptor e do servidor a um roteador

wireless. A biblioteca ESP8266WiFi.h, foi utilizada para codificar o microcontrolador para se conectar à rede. Essa biblioteca é uma modificação feita por Ivan Grokhotkov, baseada na biblioteca WiFi.h do Arduino, construída em C++.

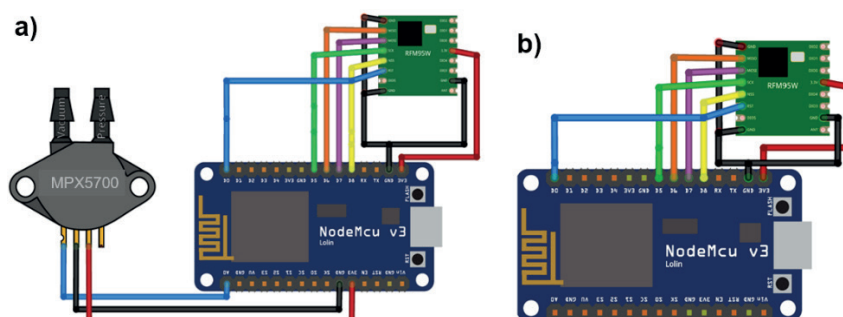
Uma vez estabelecida a rede, prosseguiu-se com a fase de submissão dos dados ao banco. Nesse caso, utilizou-se a biblioteca ESP8266HttpClient.h a fim de que o microcontrolador pudesse acessar a requisições de salvamento de dados. Essa requisição trata-se do código em PHP, construído na etapa Criação do Banco de Dados, para inserir os registros no banco utilizando o método de requisição Post, do protocolo HTTP.

Por fim, utilizou-se aparelhos como smartphones e notebooks para, através da conexão com a rede, acessarem as páginas de Dashboard e visualizar a inserção dos dados de forma gráfica.

Modelagem dos Circuitos Elétricos

A integração do sensor e do modulo LoRa requereu um microcontrolador para controlar as rotinas de leituras, transmissão esquematizado na Figura 6. a), recebimento e submissão de dados esquematizado na Figura 6. b) abaixo. O microcontrolador escolhido foi o ESP8266 devido a sua conectividade WiFi e baixo custo.

Figura 6. Esquemático do circuito a) transmissor; b) receptor.



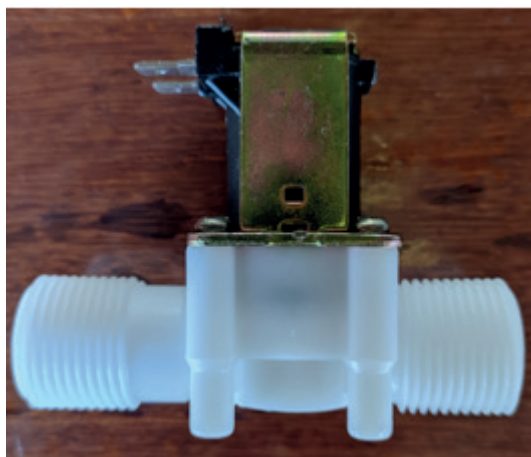
O servidor foi configurado em dois sistemas operacionais diferentes, Windows e Raspbian. Idealmente o servidor deve ser configurado em uma placa Raspberry Pi com sistema operacional Raspbian. No entanto, devido atrasos na importação dessa placa, um servidor de testes pré-operacionais foi configurado em sistema operacional Windows devido sua disponibilidade imediata em um computador do laboratório.

Definição dos Atuadores

O acesso a informações sobre a lavoura em tempo real por si só já abre caminho para um manejo mais eficiente dos recursos hídricos. No entanto, esse sistema possibilita a automação da irrigação efetivando a eficiência no manejo dos recursos hídricos. Através

de uma válvula solenoide (Figura 7) o controle da irrigação pode ser executado seguindo os comandos do sistema automático, que toma por base as leituras de umidade realizadas. Vale ressaltar que o operador consegue alterar a calibração do sistema via interface programada, possibilitando sua adequação para outras lavouras ou necessidades de irrigação.

Figura 7. Válvula Solenoide.

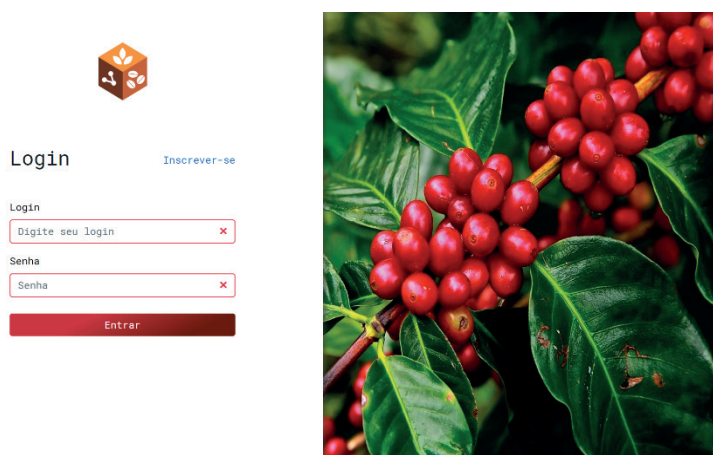


A válvula solenoide escolhida tem uma potência nominal de 5W e tensão de 12V, sendo assim é necessária uma corrente de 400mA para alimentar o equipamento. No entanto, o ESP8266 não fornece corrente acima de 40mA, tornando uma conexão direta inviável. Para solucionar essa questão foi idealizado um circuito amplificador de corrente com um transistor BC337.

RESULTADOS

A interface web desenvolvida possui um design simplificado e intuitivo, tornando a experiência com o usuário mais amigável. A página de login (Figura 8) é a primeira página disponível ao acessar o sistema sem inserir um login e senha previamente cadastrados. A página de login também contém um link para cadastrar novos usuários.

Figura 8. Página de Login.



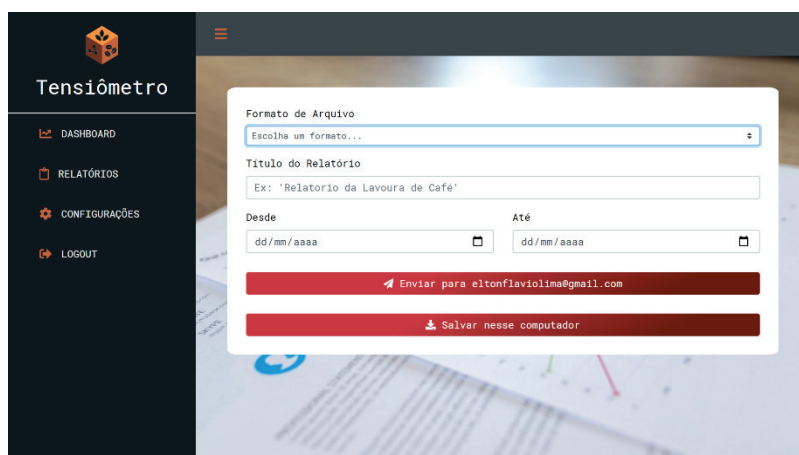
Ao preencher os campos com login e senha válidos e compatíveis o usuário inicia uma sessão e é direcionado para a página de Dashboard (Figura 9). Nessa página o usuário tem acesso ao gráfico com as leituras mais recentes registrados no banco de dados. Essa página é atualizada automaticamente a cada minuto atualizando também o gráfico. Um alerta visual é exibido quando a pressão atual está abaixo do limite programado, ativando a irrigação. Nesse exemplo o limite mínimo de umidade para ativar a irrigação foi configurado quando o sensor atinge 4kPa.

Figura 9. Dashboard com apresentação gráfica das leituras e alerta pré-configurado.



A página de emissão de relatórios (Figura 10) permite que o usuário escolha o formato do arquivo (pdf, scv, xls), defina um título que será utilizado para nomear o arquivo e preencher o cabeçalho do relatório, escolha um intervalo temporal dos registros. Esse arquivo é armazenado na memória do dispositivo em que se está navegando e disponível para impressão.

Figura 10. Página de emissão de relatórios.

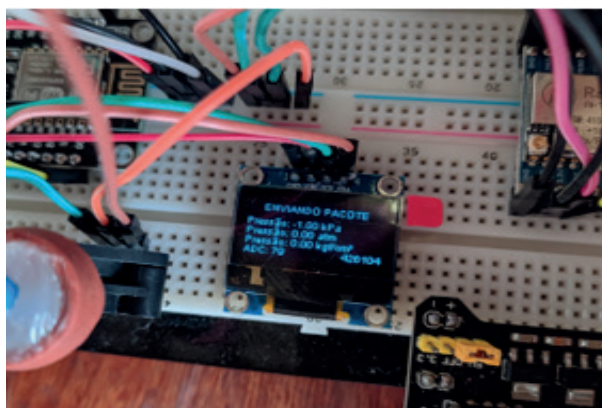
The image shows a web application interface for a 'Tensiômetro' (tensiometer). On the left is a dark sidebar with a logo and menu items: DASHBOARD, RELATÓRIOS, CONFIGURAÇÕES, and LOGOUT. The main area displays a form titled 'Formato de Arquivo' with a dropdown menu set to 'Escolha um formato...'. Below this is a 'Título do Relatório' field with an example 'Ex: Relatório da Lavoura de Café'. There are two date pickers labeled 'Desde' and 'Até', both showing 'dd/mm/aaaa'. At the bottom of the form are two red buttons: 'Enviar para eltonflaviolima@gmail.com' and 'Salvar nesse computador'.

A página de configurações permite ao usuário definir o limite de pressão o qual emitirá um alerta visual sempre que a leitura estiver abaixo desse parâmetro, o título dos gráficos, o tipo de gráfico (barra ou linha), a largura das linhas de contorno, as cores das linhas e de preenchimento dos gráficos e exibir ou não uma tabela com os registros.

Vale ressaltar que foi selecionada a linguagem de programação PHP, com um paradigma de programação procedural. A vantagem dessa linguagem é sua fácil incorporação em interfaces web. Ainda como vantagem de aplicação desta linguagem destaca-se a simplicidade em configurar a conectividade e outras requisições ao banco de dados.

O circuito transmissor (Figura 11) opera uma rotina de 10000 leituras da entrada analógica do sensor, seguida pelo cálculo da média desse valor para aumentar a precisão do equipamento. O circuito também estabelece uma conexão com o circuito receptor na frequência de 433MHz, converte a média das leituras da entrada analógicas em um valor equivalente de pressão em kPa, empacota os dados e envia em um intervalo de 6 segundos.

Figura 11. Circuito transmitindo leituras do sensor de pressão.



O circuito receptor (Figura 12) ao inicializar se conecta com a rede wireless e aguarda um novo pacote enviado pelo circuito transmissor. Quando o pacote é recebido prontamente é submetido ao banco de dados através da requisição HTTP e método Post. Caso os dados

sejam salvos com sucesso uma mensagem é retornada, caso contrário o erro é reportado via serial e na tela OLED adicionada ao projeto.

Figura 12. Circuito recebendo leituras do circuito transmissor.



Em ambiente de testes de laboratório foram simuladas mais de 500 variações de pressão no sensor do vacuômetro, utilizando uma seringa vazia, e as leituras foram feitas de maneira automática e remota, pelo equipamento desenvolvido. Uma vez coletadas as leituras do tensiômetro, o sistema apresentou-as em formato de gráficos e de valores numéricos em um sistema WEB possível de ser aberto em qualquer sistema que possua um navegador WEB, como um celular, notebook ou um computador de mesa. Esse sistema é provido de alarmes que podem ser configurados para indicar a hora certa para ligar e desligar o sistema de irrigação, ou mesmo atuar diretamente na bomba, como foi simulado por meio de uma válvula solenoide. Dessa forma, foram testadas condições que possivelmente serão encontrados com o equipamento em uma lavoura de real de café.

CONCLUSÃO / CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao alcançar os objetivos de automatizar um sistema de irrigação para lavouras de café e de baixo custo, que toma como base a característica hídrica momentânea do solo, esse projeto constrói uma solução tecnológica para economizar água e, consequentemente energia, em lavouras de café. Com os devidos ajustes na configuração dos alarmes o sistema também poderia ser utilizado em diferentes lavouras, com diferentes necessidades de irrigação.

Ainda assim, o sistema possui uma desvantagem a ser superada. Trata-se do período de inicialização (entre 5 a 10 minutos), pois é o momento em que os microcontroladores estão se conectando à rede e entre si via rádio. É possível ressaltar também que essa dificuldade é compensada com alta frequência de registros o que aumenta a precisão das leituras.

A emissão de relatórios para impressão é um recurso valioso presente no sistema desenvolvido, possibilitando ao produtor ou pesquisador salvar os registros de um período

de tempo em uma planilha ou ainda enviar por e-mail caso uma conexão com a internet esteja disponível.

Por fim, o sistema promove a automação agrícola com equipamento de baixo consumo de energia. É assumido também um compromisso com os pequenos produtores, já que o equipamento é de baixo custo de construção, ao contrário das soluções mais robustas presentes no mercado. Tendo em vista os benefícios citados, essa ferramenta têm um potencial comercial grande principalmente entre os pequenos produtores.

■ REFERÊNCIAS

1. Bertoleti, P. (2017). Planta IoT com ESP8266 NodeMCU – Parte 4. Disponível em: <<https://www.filipeflop.com/blog/planta-iot-com-esp8266-nodemcu-parte-4/>>. Acesso em: 29 jul. 2020.
2. Camargo, A. P.; Grohmann, F.; Camargo, M.B.P. (1982). Tensiômetro simples de leitura direta. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.17, n.12, p. 1763-72, 1982.
3. Carvalho, V. (2015). MySQL: comece com o principal banco de dados open source do mercado. 1 ed. São Paulo: Casa do Código.
4. Coelho, S. L.; Teixeira, A.S. (2004). Avaliação do tensiômetro eletrônico no monitoramento do potencial matricial de água no solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 536-545.
5. Damatta, F. M.; Ramalho, J. D. C. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. Brazilian Journal of Plant Physiology, Piracicaba, v. 18, n. 1, p.55-81.