



OTIMIZAÇÃO DO MONITORAMENTO DA VAZÃO DAS TORRES DE PIVÔ CENTRAL DE IRRIGAÇÃO POR INVERSOR DE FREQUÊNCIA VIA WEB

Ingedy Gabriela Gomes Carmo*¹, Antônio Marcos de Melo Medeiros¹

¹PUC-GO – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Resumo - A água é abundantemente encontrada em nosso planeta e é amplamente utilizada na agricultura para fornecer a irrigação correta a todos os tipos de culturas. Monitorar e controlar seu fluxo são de grande importância para evitar desperdícios. Devido a sua flexibilidade, desempenho e facilidade de operação, as torres centrais de irrigação são utilizadas para irrigação agrícola em grande extensão. Este artigo propõe simular um sistema automatizado, que pode ser implementado em sistemas de irrigação a pivô central. O sistema foi capaz de coletar dados em tempo real e exibi-los em uma plataforma online, permitindo ao usuário ligar ou desligar o sistema desde que esteja conectado à internet. Embora os sistemas de irrigação a pivô central possam ter muitas qualidades, uma preocupação é seu uso de energia, que pode aumentar o custo de produção e, para isso, este trabalho também explicou a importância do uso de inversores de frequência no sistema a fim de reduzir o consumo de energia.

Palavras-Chave - Automação, Inversor de Frequência, Pivô Central.

FLOW MONITORING OPTIMIZATION OF CENTRAL PIVOT TOWERS BY FREQUENCY INVERTER VIA WEB

Abstract – Water is abundantly found on our planet and is widely used in agriculture to provide the right irrigation for all types of crops. Monitoring and controlling its flow is of great importance to avoid waste. Due to their flexibility, performance and ease of operation, central irrigation towers are used for agricultural irrigation to a great extent. This article proposes to simulate an automated system, which can be implemented in central pivot irrigation systems. The system was able to collect data in real time and display it on an online platform, allowing the user to turn the system on or off as long as it is connected to the internet. Although the central pivot towers can have many qualities, one concern is their use of energy, which can increase the cost of production and, for this, this work also explained the importance of using frequency inverters in the system in order to reduce the energy consumption.

*ingredycarmo@icloud.com

Keywords - Automation, Central Pivot, Frequency Inverter.

I. INTRODUÇÃO

Com o crescente debate a respeito de recursos hídricos e a carência de automação em áreas agropecuárias, a engenharia encontra desafios a cada dia. Nesse contexto, a agricultura de precisão vem para contribuir com o gerenciamento agrícola, onde o desenvolvimento de novas tecnologias e manejos são aplicados. A automação, o controle remoto de aparelhos eletrônicos e o tratamento de dados têm um papel imprescindível nesse processo [1].

A água é o recurso mais importante para a preservação da vida e é abundantemente utilizada na agricultura, seu uso correto e consciente pode resultar em uma colheita mais viçosa, contudo, se utilizada erroneamente pode-se perder toda uma safra [2]. Portanto, o aproveitamento dos recursos hídricos aumenta a qualidade do produto final. Com isso, o estudo dos sistemas de irrigação de culturas deve ser mais aprofundado, a fim de encontrar inovações para essa etapa da produção de alimentos.

Dos sistemas de irrigação existentes são sistemas de irrigação por aspersão: o convencional, o auto propelido e o pivô central, sendo o último o mais automatizado existente no mercado. Seu princípio de funcionamento se dá por meio de uma torre com estrutura que se move em círculos em torno de um ponto fixo, simulando uma chuva artificial. Os componentes de automação desse sistema variam de simples acessórios, componentes que auxiliam no funcionamento remoto até sistemas controlados por estações computadorizadas capazes de captar e tratar dados [3].

O sistema a pivô central por aspersão é composto por um conjunto motor-bomba ligado à rede elétrica, este é responsável pelo bombeamento da água pela tubulação até os aspersores. Do ponto de vista tecnológico e econômico, a utilização de inversores de frequência nesse sistema é bastante vantajosa, considerando que o uso desse dispositivo pode resultar em uma economia de energia elétrica substancial. Uma das razões para o estudo desse sistema é a facilidade de automação e diminuição no custo do equipamento com o aumento da área irrigada [4].

O monitoramento do sistema é necessário, pois, como qualquer sistema mecânico, pode apresentar falhas e necessitar de manutenções, logo, é essencial um sistema de controle e comunicação para a averiguação desses eventos. A

comunicação a distância via rádio para monitoramento e processamento dos dados sofre com muitas interferências por estarem expostas a mudanças climáticas frequentes. Fato esse que prejudica a coleta periódica, correta e em tempo real dos dados lidos pelos sensores, por isso faz-se necessária a melhoria desse sistema, considerando ainda uma via de baixo custo.

A manutenção e gerenciamento do sistema de irrigação é de suma importância para o controle mais efetivo do suprimento das necessidades da cultura, por isso o controle da vazão é valioso, pois afeta diretamente a produção e desenvolvimento do vegetal, tão como a economia de água. Com desenvolvimento e automatização de um sistema simulado, que é fundamentalmente baseado no pivô central, é objeto deste estudo uma simulação de gerenciamento de dados por via remota - comunicação sem fio. Considerando o conceito de *Internet* das Coisas, objetivou-se simular um sistema de monitoramento em tempo real remoto, que permita, inclusive, intervenções, correções e análises comportamentais dos dados via *web*.

Este estudo tem como objetivo desenvolver um sistema para melhoria no monitoramento e coleta de dados de vazão e demais importâncias, a serem observadas no decorrer do estudo, em sistemas de irrigação a pivô central. Tendo em vista a otimização e controle do sistema com a utilização de inversores de frequência, proporcionado pela melhor observância e analisando dos dados coletados.

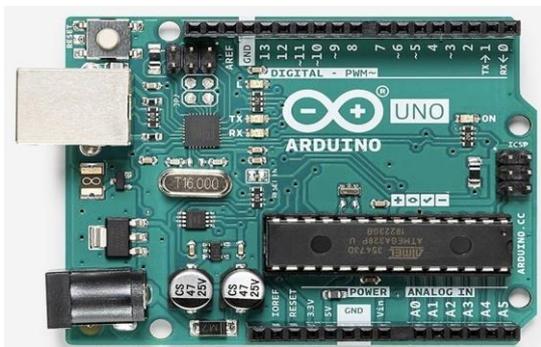
II. MATERIAIS E METODOS

Nesta seção são apresentados os principais materiais e métodos utilizados no trabalho.

A. Plataforma Arduino

Haja vista que os sensores não possuem conexão direta com a *internet*, é necessário o uso de um microprocessador ou microcontrolador para a transmissão dos dados via *web*. A plataforma *open-source* de *hardware* e *software* Arduino (Figura 1), é uma plataforma de fácil acesso, baixo custo e programável em linguagem de alto nível, baseada em C/C++ e que possui ambiente de desenvolvimento (IDE) próprio [5].

Figura 1: Hardware Arduino Uno.

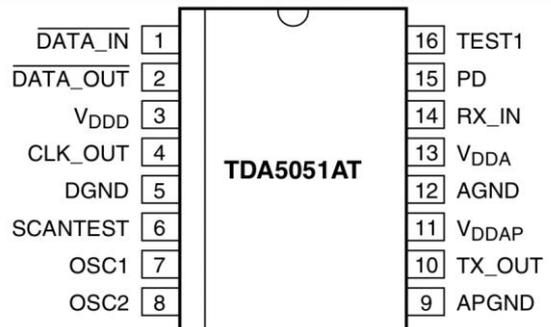


B. PowerLineCommunication

A utilização da rede elétrica como meio de transmissão de dados é uma maneira eficiente de comunicação, pois evita-se a instalação de novas estruturas, aproveitando a já existente, esse método é chamado de *PowerLineCommunication* (PLC) [6].

Para a comunicação com o Arduino *slave* sugere-se o uso do *modem* PLC TDA 5051 (Figura 2) que utiliza especificamente a transmissão por modulação por chaveamento de amplitude (ASK - *Amplitude ShiftKeying*), trabalha com uma alimentação de 5V, compatível com a do *hardware* do Arduino e transmite os dados através da rede elétrica local.

Figura 2: Modem TDA5051.



C. Plataforma EasyEDA

A plataforma é um software livre com armazenamento em nuvem que permite projetar, simular, converter e compartilhar, de forma livre ou privada, esquemáticos de circuitos elétricos projetados para placas de circuito impresso (PCB) em que se encontram os componentes eletrônicos. Essa foi a plataforma utilizada para a simulação da shield de interligação do PLC com o módulo Arduino [7].

D. Interligação Sensores-Arduino

Para o desenvolvimento da comunicação entre os sensores empregados no pivô central e o receptor utilizado, foi projetado um equipamento eletrônico que utiliza a rede de distribuição elétrica como forma de transmissão de sinais, analógicos ou digitais, conforme descrito na Resolução Normativa 375 da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), que trata da regulamentação do uso das instalações de distribuição de energia elétrica para comunicação de sinais [8].

Sugere-se o uso de um modem com tecnologia *Power line communication* (PLC) para a comunicação de dados via rede elétrica [9], para a implementação do PLC, foi projetado uma placa de circuito impresso (*shield*) através do software livre com armazenamento em nuvem EasyEDA. O objetivo é que a *shield* seja desenvolvida de forma a atuar juntamente com a plataforma de código aberto Arduino (Figura 1), a fim de otimizar a leitura de vazão realizada pelos sensores no pivô central.

E. Tinkercad

Desenvolvido pela *Autodesk*, o *Tinkercad* é uma ferramenta de design colaborativo que permite a criação de modelos 3D e simulação de circuitos eletrônicos analógicos e digitais. Essa plataforma permite a simulação de esquemáticos e codificação do microprocessador Arduino e componentes eletrônicos compatíveis. Primeiramente, os testes foram realizados virtualmente, e então foram realizadas com os módulos físicos [10].

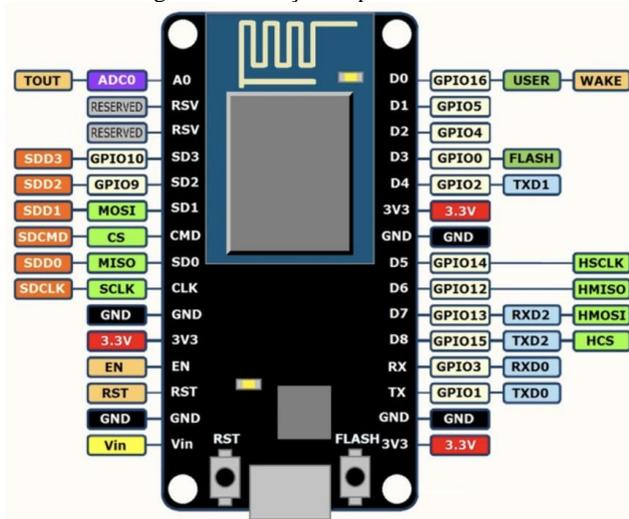
F. Módulo de Comunicação Wi-fi

Os módulos de comunicação *Wi-fi* ESP foram desenvolvidos pela *EspressifSystems*, esses permitem a conexão de microcontroladores a rede sem fio, através das interfaces SPI/SDIO ou UART utilizando a pilha de protocolo TCP/IP, tão como pode ser utilizada de maneira autônoma. A placa de desenvolvimento utilizada neste trabalho foi a Nodemcu (Figura 3), que possui o processador ESP8266 (ESP-12E) acoplado. Esses processadores podem ser programados em Python, Lua, JavaScript e Arduino [11]. Para que a leitura dos dados possa ser feita corretamente é necessário o conhecer o endereçamento correto das portas (Figura 4).

Figura 3: Hardware Nodemcu.



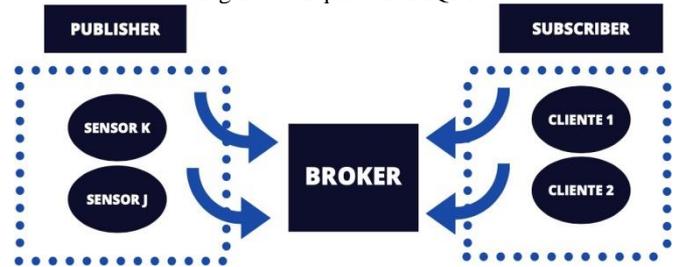
Figura 4: Definição de pinos Nodemcu.



G. Protocolo de Comunicação MQTT

O MQTT é um protocolo que define a organização e transmissão de dados por TCP/IP. A comunicação se dá por *publisher/subscriber*, e as informações são intermediadas por um *broker*. O *subscriber* é um cliente que envia requisição ao *broker* para se inscrever em certos tópicos, ou seja, o cliente quer receber os dados publicados nesses tópicos. O *publisher* envia mensagens ao *broker* que contém um tópico e pacote de dados, o *broker* então envia esses dados a todos os clientes inscritos neste tópico [12]. Um esquemático da explanação pode ser visto na Figura 5.

Figura 5: Arquitetura MQTT.



H. Armazenamento em Nuvem

A plataforma *Adafruit IO* é uma ferramenta de armazenamento e gerenciamento de dados em nuvem gratuita, criada pela empresa da engenheira Limor Fried. O desenvolvimento de projetos pode ser feito tanto na linguagem baseada em C/C++ do Arduino, quanto em Python, através do protocolo de comunicação MQTT. Com essa plataforma é possível conectar projetos pela web, controlando dispositivos, lendo e exibindo dados online e em tempo real [13].

O sistema é composto por, basicamente [13]:

- *Feeds*: onde são alocados os valores enviados, por sensores, por exemplo. Além dessas informações os feeds guardam dados de data, local e privacidade;
- *Dashboards*: responsáveis pela visualização de dados e controle de projetos conectados. É onde estão dispostos todos os *feeds* adicionados do projeto. Há também a disponibilidade de gráficos com o histórico de registros;
- *Triggers*: utilizado para controle de dados. Os *triggers* também podem ser configurados para enviar e-mails;
- Bibliotecas compatíveis com: *AdafruitAirLift*, ESP8266, ESP32, ATWINC1500, WICED e *Ethernet*;

I. Inversor de Frequência

O consumo de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central depende do volume de água a ser transportado, da área a ser irrigada e do bombeamento e acionamento dos motores elétricos. O uso de equipamentos de controle e automação atuantes no conjunto motor-bomba é de grande importância, no que se trata da redução de perdas do sistema. Com isso, a implementação do inversor de frequência permite a redução no volume de água utilizado [14].

Segundo o Guia de Especificações de Motores Elétricos da WEG, a rotação do motor é dada pela relação entre a frequência de rede, escorregamento e número de polos, como visto na equação abaixo.

$$n = \frac{120 * f * (1 - s)}{p} \quad (1)$$

Onde:

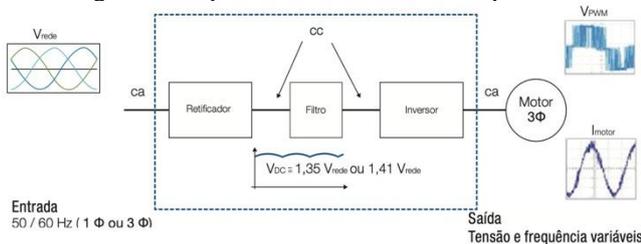
- n - Rotação do motor [rpm].
- f - Frequência da rede [Hz].
- p - Número de polos.
- s - Escorregamento.

Analisando a fórmula e considerando que o número de polos é uma característica física do motor, conclui-se que a maneira mais eficaz de variar a rotação do motor é variando a frequência de alimentação, por isso o uso de inversores de frequência devem ser considerados [15].

Os inversores de frequência são controladores de que trabalham no acionamento e variação da frequência de rede de alimentação de um motor elétrico, controlando a velocidade de rotação e a potência consumida. Esse trabalho é realizado por meio da transformação da tensão da rede, de amplitude e frequência constantes, em uma tensão de amplitude e frequência variáveis. Pode-se dizer que o inversor atua como uma fonte de frequência variável para o motor. Com a alteração da frequência da tensão de rede, a velocidade do campo girante também varia e por consequência a velocidade mecânica do motor [16].

Para a conseguir a tensão ideal de funcionamento são necessários três estágios (Figura 6): a retificação, por meio de ponte de diodos, da tensão advinda da rede de alimentação; um filtro CC para regulação da tensão retificada com armazenamento de energia em banco de capacitores; e transistores IGBT para a inversão da tensão do filtro por modulação por largura de pulso [16].

Figura 6: Esquemático Inversor de Frequência.



III. DESENVOLVIMENTO DO SISTEMA

Foi desenvolvido um sistema para a coleta de dados para o controle da vazão em sistemas de pivô central, onde, os dados de vazão colhidos nos aspersores são transmitidos por meio da rede elétrica local e monitorados via *web* (Figura 7).

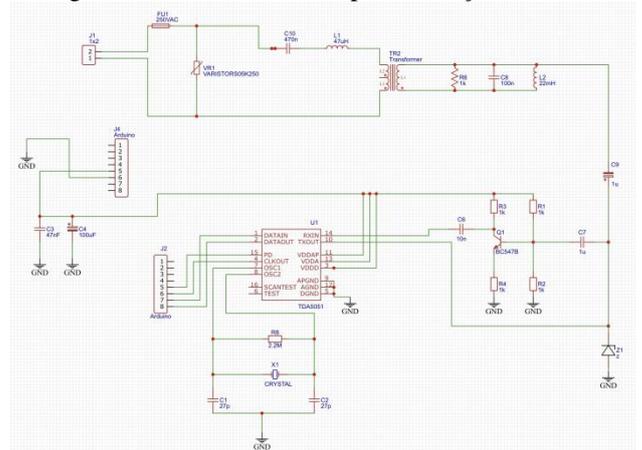
Figura 7: Esquemático de Comunicação.



As etapas de elaboração do sistema podem ser apresentadas em quatro partes:

- (i) Elaboração, em software, de um modelo de *shield* para interligação do *modem* PLC com o microcontrolador para envio de dados via rede elétrica (Figura 8);

Figura 8: Circuito simulado para obtenção da PCB.



- (ii) Comunicação serial com o microcontrolador *slave*, composto por um Arduino Uno, módulo *Wi-fi*, *led* e potenciômetro (Figuras 9 e 10). Esse sistema lê o valor da porta analógica do potenciômetro, que simula a vazão do pivô e pode atuar sobre o *led* que apresenta o motor, ligando-o ou desligando-o;

Figura 9: Simulação do circuito no software Tinkercad.

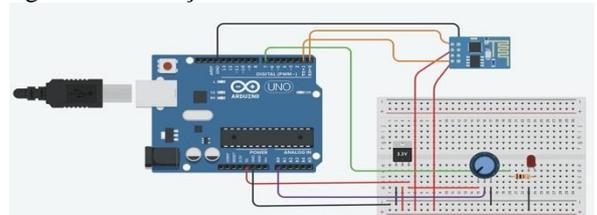
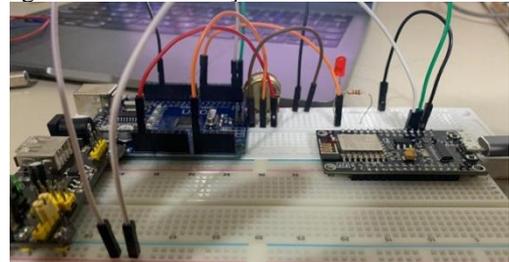
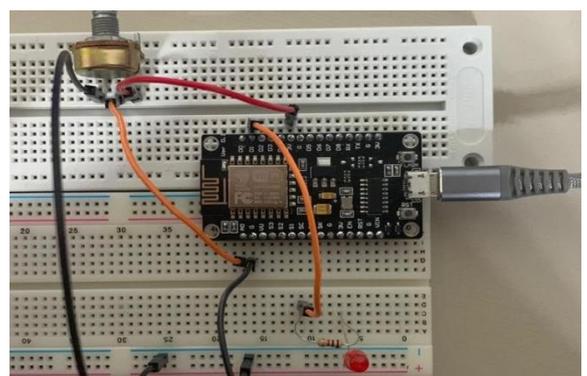


Figura 10: Comunicação Serial Arduino-NodeMcu



- (iii) Desenvolvimento do *master*, responsável por receber as informações e levá-las ao servidor, composto pelo módulo *Wi-fi* Nodemcu ESP8266 (Figura 11);

Figura 11: Sistema utilizado para simulação na plataforma *Adafruit IO*



(iv) Desenvolvimento da comunicação via web para recebimento de dados e execução de comandos, se deu por meio da plataforma *Adafruit IO*, armazenando as informações em nuvem. Foi desenvolvido um código específico para essa etapa.

IV. RESULTADOS

O resultado foi uma interface intuitiva onde tem-se os dados de vazão, que depende do valor lido da vazão representado por um potenciômetro, e um botão de controle de estado do sistema de motor-bomba seu funcionamento representa do por um led.

A figura 12 mostra a coleta da variação dos dados da vazão via web através da transmissão via *wifi* com o sistema moto-bomba ligado.

Figura 12: Interface de monitoramento da vazão com o sistema ligado.



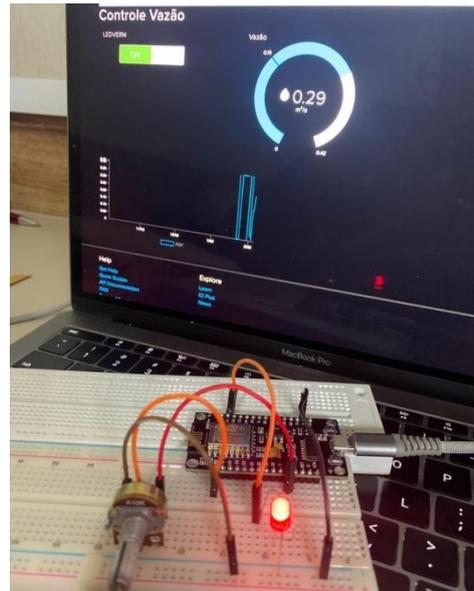
A figura 13 mostra a coleta da variação dos dados da vazão via web através da transmissão via *wifi* com o sistema moto-bomba desligado.

Figura 13: Interface de monitoramento da vazão com o sistema desligado.



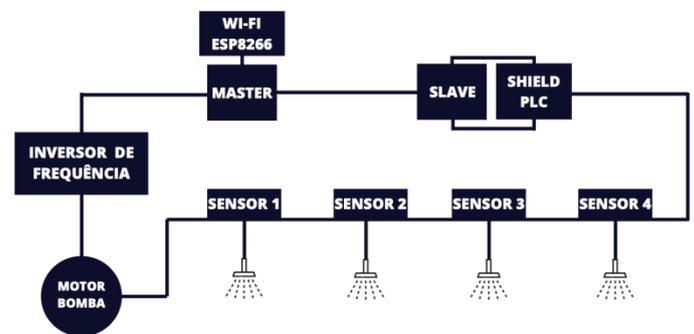
A figura 14 mostra o hardware e software funcionando em conjunto para a aquisição dos dados de vazão via web.

Figura 13: Circuito montado e interface de monitoramento.



A figura 15 demonstra uma proposta para a implementação em campo do sistema de coleta de dados e controle da vazão onde os dados são coletados através de sensores de vazão ao longo do pivô central através de um sistema PLC *slave* e transmitidos via rede elétrica para um sistema *master* onde faz o controle do inversor de frequência para controlar a vazão do sistema de irrigação. Os dados e controle de acionamento do sistema e fornecido através esp 8266 através de transmissão *wifi*.

Figura 14: Sistema para implementação em campo proposto.



V. CONCLUSÕES

A comunicação via *web*, utilizando o protocolo de comunicação MQTT e o armazenamento de dados em nuvem, torna possível o controle e monitoramento remoto. O uso de inversores de frequência atuando no conjunto motor-bomba possibilita o controle de da vazão proporcionando economia de energia e o uso racional da água no sistema da irrigação.

Os resultados demonstraram o funcionamento do sistema, coletando e armazenando os dados de vazão para o controle do sistema motor-bomba em laboratório.

Para proposta de trabalhos futuros:

- Implementação da *shield* desenvolvida com o *modem* PLC para uma transmissão mais confiável de dados entre os sensores nos bicos do pivô e o Arduíno;
- Utilização do sensor de fluxo de água YF-S201B, para fim de captação direta do valor de vazão;

- Estudo da curva de eficiência do conjunto motor-bomba com e sem o uso do inversor de frequência;
- Testagem em bancada dos sistemas simulados;
- Implementação em campo do sistema de controle proposto.

REFERÊNCIAS

- [1] SOARES FILHO, R.; CUNHA, J. P. A. R., Agricultura de precisão: particularidades de sua adoção no sudoeste de Goiás - Brasil, Engenharia. Agrícola. Jaboticabal, São Paulo. 2015.
- [2] VITAL P. da S. P.; REGES E. F. T.; MENDONÇA F. C. Recursos hídricos, agricultura irrigada e meio ambiente. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande. 2000.
- [3] VILELA, L. A. A. Metodologia para dimensionamento de um sistema de pulverizaçãoacoplável a pivô central. Tese (Doutorado em Agronomia: Irrigação e Drenagem). Universidade de São Paulo. Piracicaba – SP. 2002.
- [4] MEDEIROS, A. M. de M. Potencial de economia de energia elétrica em sistemas de irrigação a pivô central no Estado de Goiás. 2005. 131 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica e de Computação) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e de Computação da Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2005.
- [5] Monk, S. 30 projeto com Arduino; tradução anatólio laschuk. 2ed. bookmam, porto alegre, 2014.
- [6] PEREIRA S. C., Transmissão de dados via rede de energia elétrica em ambiente industrial, feita de forma robusta e confiável através do padrão g3-plc. Canindé, São Paulo. 2013.
- [7] Site oficial EasyEDA. Disponível em: <https://easyeda.com/pt>. Acesso em 03 de outubro de 2019.
- [8] ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. Resolução Normativa nº 375 de 25/08/2009 (D.O.U. 28/08/2009). Instalações de distribuição de energia elétrica. Disponível em: <https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibmlink.php?numlink=212105> . Acesso em 22 de setembro de 2020.
- [9] SEGATTI, B. M. BARBOSA J. Desenvolvimento de Modem PLC para Monitoramento e Controle de Sistemas de Irrigação a Pivô Central. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado) - Escola de Engenharia Elétrica, Pontifícia Universidade Católica de Goiás, Goiânia. 2018.
- [10] Site oficial Tinkercad. Disponível em: <https://www.tinkercad.com>. Acesso em 25 de junho de 2020.
- [11] ESP8266 Datasheet. Espressif Systems. EspressifIoTTeam. Shanghai. 2020. Disponível em: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf. Acesso em 22 de novembro de 2020.
- [12] YUAN, M. Why MQTT is one of the best network protocols for the Internet of Things. Getting to know MQTT. IBM Developers. January 7, 2020 | Published May 12, 2017. Disponível em: <https://developer.ibm.com/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>. Acesso em 22 de novembro de 2020.
- [13] RUBELL, B. Welcome toAdafruit IO. AdafruitLearningSystem. 2020. Disponível em: <https://learn.adafruit.com/welcome-to-adafruit-io>. Acesso em 22 de novembro de 2020.
- [14] MEDEIROS, A. M. de M. Otimização de sistema de irrigação por aspersão pivô central. 2010. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia: Solo e Água) - Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Goiás, Goiânia. 2010.
- [15] WEG. Guia de Especificações de Motores Elétricos. Jaraguá do Sul - Santa Catarina. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/hc5/WEG-motores-eletricos-guia-de-especificacao-50032749-brochure-portuguese-web.pdf>. Acesso em 22 de novembro de 2020.
- [16] MORAES, M.J. OLIVEIRA FILHO, D.; MANTOVANI, E.C.; MONTEIRO, P.M.B.; MENDES, A.L.C.; DAMIÃO, J.H.A.C. Automação em sistema de irrigação tipo pivô central para economia de energia elétrica. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v.34, n.6, p.1075-1088, nov./dez. 2014