

Arquitetura de aquaponia automatizada utilizando IoT

Fellipe Lima Calixto dos Santos, Leonardo da Silva Alves, Daniela Vieira Cunha

Faculdade de Computação e Informática – Universidade Presbiteriana Mackenzie
São Paulo – SP – Brasil

`fellipe.calixto.santos@gmail.com, leo_silvaalves@yahoo.com.br,
daniela.cunha@mackenzie.br`

Abstract. *The aquaponics is a system of sustainable cultivation that integrates the fish farming with the vegetable cultivation. It is considered a great option for people who have interest in produce and consume healthier food without harm the environment, since this system uses water consciously to avoid waste. However, to keep the good work of the aquaponics requires knowledge and parameter tracking. Therefore, the objective of this article is to introduce the architecture of a compact and low-cost aquaponics system that uses a NodeMCU board. The system consists of an web graphic interface used to manage the parameters, analytic reports generation about the system's operation and for issuing alerts through email.*

Resumo. *A aquaponia é um sistema de cultivo sustentável que integra a criação de peixes com o cultivo de hortaliças. É considerada uma ótima opção para pessoas que têm interesse em cultivar e consumir alimentos mais saudáveis, sem prejudicar o meio ambiente, uma vez que este sistema de cultivo faz o uso consciente da água e evita desperdícios. Contudo, manter o bom funcionamento da aquaponia requer conhecimento e acompanhamento de diversos parâmetros do sistema. Portanto, o objetivo deste artigo é apresentar a arquitetura de um sistema de aquaponia compacto e de baixo custo que utiliza uma placa NodeMCU. O sistema é composto por uma interface gráfica web utilizada para o gerenciamento de parâmetros, geração de relatórios analíticos sobre o funcionamento do sistema e para emissão de alertas via mensagens de e-mail.*

1. Introdução

O cultivo de alimentos atualmente deixou de ser uma preocupação somente de agricultores e passou a ser uma preocupação da sociedade em geral. Cada vez mais as pessoas estão buscando formas de cultivar e consumir alimentos mais saudáveis sem a adição de agrotóxicos e que façam uso consciente dos recursos naturais. No primeiro semestre de 2020, muitos produtores de alimentos orgânicos triplicaram as suas produções e o número de vendas online dobraram [Globo, 2020], evidenciando o crescente interesse das pessoas em manter uma alimentação mais saudável e sustentável.

A aquaponia é o sistema de cultivo que faz uso da aquicultura (produção de organismos aquáticos) e hidroponia (produção de plantas sem solo), requer um volume de água muito baixo se comparado aos sistemas tradicionais de agricultura [Carneiro, 2015]. No sistema aquapônico, os peixes se alimentam da ração e produzem excretas que serão posteriormente convertidas em nutrientes [Engepesca, 2019]. Através do sistema de recirculação, a cama de cultivo das hortaliças recebe a água oriunda do tanque dos peixes, as plantas absorvem os nutrientes contidos na água e fazem a filtragem da mesma que retorna para o tanque dos peixes. A aquaponia é uma alternativa para aqueles que buscam

por um sistema de cultivo de baixo custo e que produza alimentos mais saudáveis. Entretanto, manter um sistema de aquaponia requer além de investimento financeiro e conhecimento, o constante acompanhamento de diversos parâmetros.

Ao considerarmos o cultivo de tilápias, a quantidade de amônia no tanque dos peixes deve estar sempre equilibrada, a temperatura deve estar entre 27°C e 32°C e o pH da água entre 6 e 8,5. Caso estes parâmetros fiquem fora dos intervalos ideais, os peixes ficam mais propensos às doenças e sofrem com a diminuição do apetite e crescimento. O acompanhamento do nível da água no tanque dos peixes também é outro parâmetro importante, uma vez que a água no tanque deve ter uma quantidade mínima suficiente para o bom desenvolvimento e sobrevivência dos peixes. Todos estes parâmetros citados influenciam diretamente no desempenho do sistema.

Sendo assim, este projeto visa tornar mais fácil e prático a implementação da aquaponia por meio do desenvolvimento de uma arquitetura automatizada, compacta e de baixo custo, com uma interface gráfica para o gerenciamento e que gere relatórios analíticos sobre o funcionamento do sistema e emita alertas via mensagens de e-mail. Desta forma, o sistema proposto facilitará o gerenciamento dos diversos parâmetros que envolvem a aquaponia. Os parâmetros controlados e automatizados através da arquitetura proposta são: temperatura e nível da água no tanque dos peixes, abastecimento do tanque dos peixes, nível da água no reservatório de abastecimento e circulação constante da água entre a cama de cultivo e o tanque dos peixes.

2. Arquitetura, infraestrutura e tecnologias

Este tópico tem como objetivo detalhar cada componente e tecnologias utilizadas na arquitetura proposta (Figura 1). A arquitetura de aquaponia desenvolvida é composta por duas partes: interface gráfica *web* para gerenciamento (Figura 1- Item D) e o circuito formado pelo NodeMCU (Figura 1- Item C), sensores e atuadores. O sistema possui dois reservatórios de água, o primeiro é onde ocorre o cultivo dos peixes (Figura 1- Item A) e o segundo é o reservatório de abastecimento (Figura 1- Item B). Tendo em vista que o nível da água no tanque dos peixes pode diminuir devido a vazamento ou evaporação, a presença de um reservatório de abastecimento é de extrema importância para a garantir a manutenção do nível ideal da água no tanque dos peixes.

O *backend* da página *web* foi desenvolvido utilizando Node.js que além de ser responsável por recuperar as informações necessárias no banco de dados e exibi-las no painel de controle, também recebe todas as mensagens referentes aos sensores enviadas pelos sistemas de aquaponia via protocolo MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*). As mensagens recebidas no Node.js são persistidas no banco de dados e caso os valores recebidos exijam alguma ação, a aplicação pode disparar e-mails de notificação. Somando-se a isso, a aplicação Node.js também envia comandos para os atuadores via protocolo MQTT, atuando como *publisher* a partir da interação do usuário via interface gráfica *web* ou automaticamente.

O *hardware* da arquitetura desenvolvida é composto pela placa NodeMCU, sensores de nível e temperatura de água, bombas d'água e um LED (*Light Emitting Diode*) que simula um aquecedor de água. O LED foi incluído na arquitetura para substituir e simular um

componente de maior capacidade de geração de calor, como por exemplo uma lâmpada incandescente ou uma resistência de baixa potência.

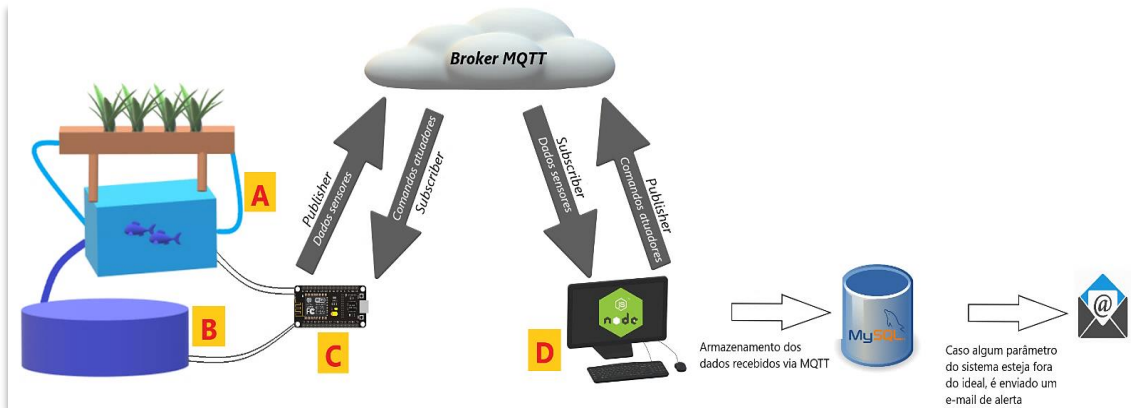


Figura 1: Arquitetura do sistema.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

2.1. Dispositivo inteligente

Os componentes utilizados para montagem do dispositivo inteligente (Figura 2) foram escolhidos visando o melhor custo-benefício e baixo custo. Todos os sensores e atuadores utilizados além de serem acessíveis financeiramente, são componentes de fácil utilização e manutenção.

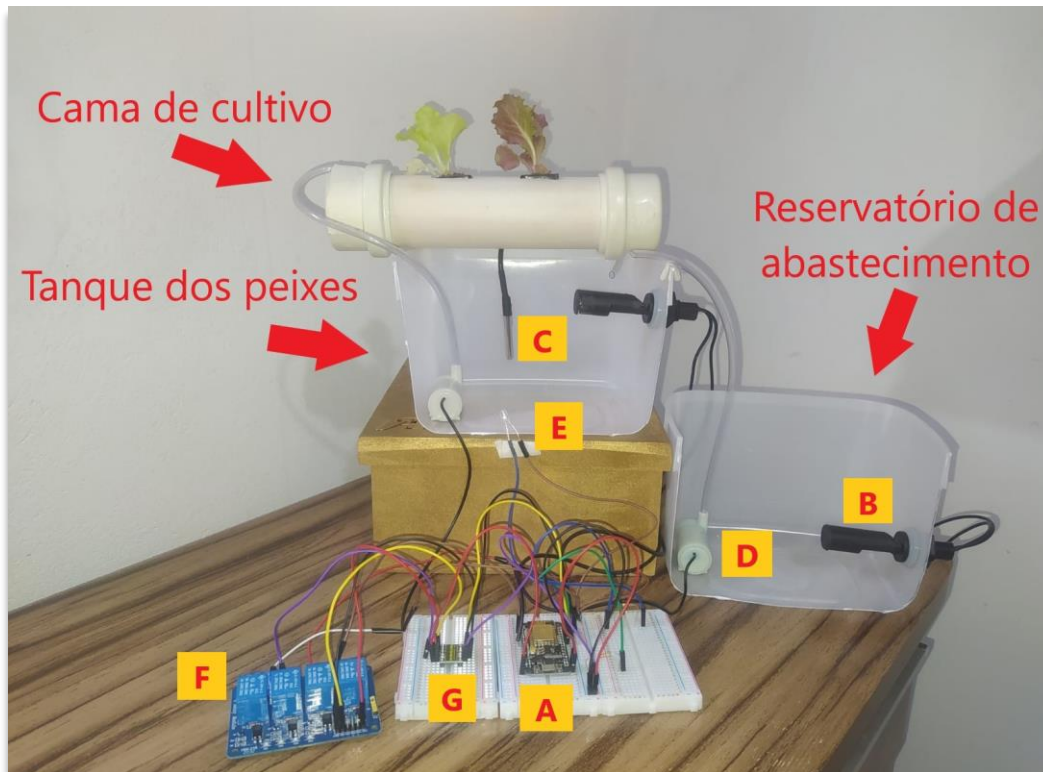







Figura 2: Protótipo da arquitetura de aquaponia proposta.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Tabela 1. Componentes do dispositivo inteligente.

Item	Quantidade	Nome Dispositivo	Figura
A	1	NodeMCU V2 ESP8266 Amica	
B	2	Sensor de nível de água com boia horizontal	
C	1	Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água	
D	2	Mini bomba de água submersível	
E	1	Led vermelho (simula um aquecedor de água)	
F	1	Módulo relé 4 canais com optoacoplador	
G	1	Conversor de nível lógico 3.3V- 5V bidirecional	

2.1.1. NodeMCU V2

É uma placa de desenvolvimento *open source* criada para ser utilizada no desenvolvimento de projetos IoT (*Internet of Things*). Projetada com o *chip* ESP8266 ESP-12E, uma porta micro USB (*Universal Serial Bus*) para alimentação e programação, conversor USB serial integrado e possui WiFi nativo [Oliveira, 2016].

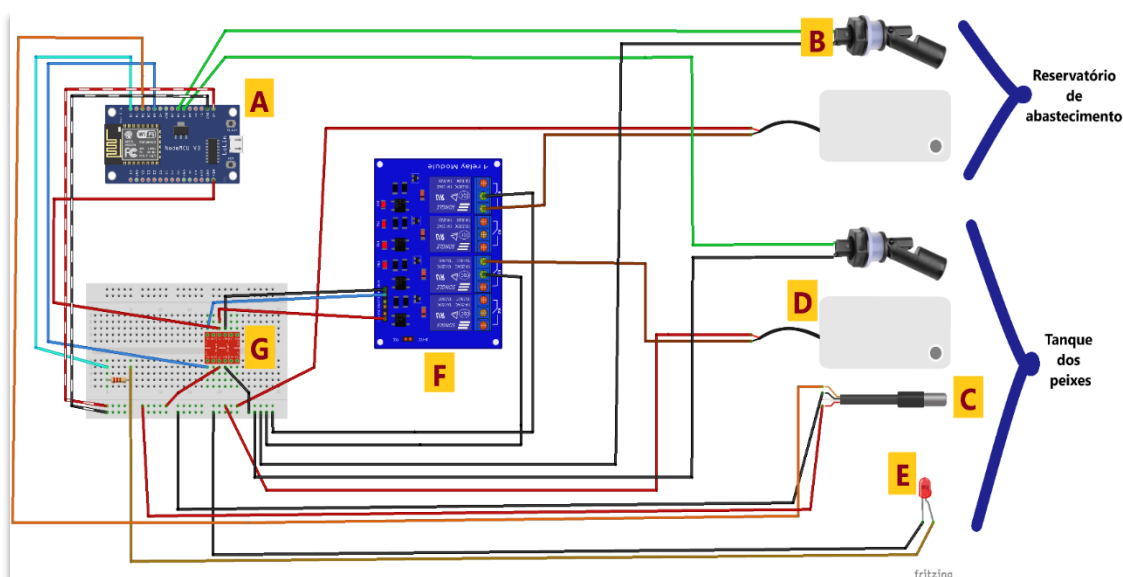


Figura 3: Esquema do circuito com NodeMCU, sensores e atuadores.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

A placa NodeMCU (Figura 3- Item A) coordena todo o funcionamento da parte física do projeto através da conexão e alimentação dos componentes, interpretação dos valores oriundos dos sensores (sensores de nível de água e sensor de temperatura da água) e controle do funcionamento dos atuadores (relé, LED de aquecimento e mini bombas d'água). Além disso, em tópicos MQTT a placa atua como *publisher* ao enviar os valores lidos dos sensores e *subscriber* ao receber comandos para controle dos atuadores.

2.1.2. Sensor de nível de água com boia horizontal

Sensor que funciona como uma chave magnética, entra em curto quando a boia horizontal é elevada, desta forma permite que o microcontrolador execute a função para o qual foi programado. Sua temperatura de operação está entre $-10^{\circ}\text{C} \sim +85^{\circ}\text{C}$.

O projeto em específico possui no total dois sensores de nível (Figura 3- Item B), o tanque dos peixes e o reservatório de abastecimento possuem um sensor cada. No tanque dos peixes, o sensor é responsável por informar se a água está no nível ideal para sobrevivência e bem-estar dos peixes. No reservatório de abastecimento, o sensor está instalado em um nível crítico que indica se a quantidade de água é suficiente para abastecer o reservatório dos peixes.

2.1.3. Sensor de temperatura DS18B20 a prova d'água

Sensor que fornece leituras de temperatura de 9 a 12 bits. Este sensor obtém a fonte de alimentação diretamente da linha de dados, assim, dispensando a necessidade de uma fonte de alimentação externa [Lousada, 2021].

Este sensor (Figura 3- Item C), é o responsável por medir a temperatura da água no tanque dos peixes. Essa informação é uma das mais importantes de todo o sistema, pois os peixes não têm capacidade de manter a temperatura corporal constante que varia de acordo com a temperatura da água. Logo, é necessário acompanhar constantemente a temperatura, uma vez que ela influencia diretamente em processos fisiológicos importantes para o desenvolvimento dos peixes, como respiração, digestão, crescimento, reprodução e comportamento [Teixeira, 2018].

2.1.4. Mini bomba de água submersível 3V

É um dispositivo que permite o bombeamento de água, chegando até a 1.5 litros por minutos. Possui voltagem adequada de 2.5V a 6V e a corrente em máxima eficiência é de $\sim 200\text{mA}$.

O projeto em específico possui no total duas mini bombas d'água (Figura 3- Item D). A primeira bomba, instalada no tanque dos peixes tem um funcionamento constante, sendo responsável por levar a água rica em nutrientes até a cama de cultivo que retorna novamente para o tanque após a filtragem das plantas. A segunda bomba, instalada no reservatório de abastecimento é responsável por abastecer e refrigerar o tanque dos peixes, o acionamento desta bomba pode ser manual ou automático de acordo com as definições feitas pelo administrador do sistema via interface gráfica *web*.

2.1.5. LED vermelho (simula o aquecedor)

É um componente semicondutor, formado por cristal semicondutor de silício ou germânio. No LED, a emissão de luz acontece quando a corrente elétrica percorre o

material de junção PN (diodo semiconductor), emitindo radiação infravermelha [Lousada, 2021].

O LED simula um aquecedor de água (Figura 3- Item E) que ficará presente no reservatório dos peixes. Caso a temperatura da água esteja abaixo do limite mínimo, o aquecimento pode ser acionado manualmente ou automaticamente de acordo com as definições feitas pelo administrador do sistema via interface gráfica *web*. Este componente do sistema tem como objetivo garantir a manutenção da temperatura da água dentro dos intervalos ideais.

2.1.6. Módulo relé 4 canais com optoacoplador

Dispositivo elétrico que funciona como um interruptor para ligar e desligar outros dispositivos. A sua mudança de estados ocorre quando a corrente elétrica percorre as suas espiras da bobina, criando um campo eletromagnético que atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos [Mattede, 2017]. Sua tensão de operação é de 5V, a corrente típica de operação varia entre 15~20mA e o seu tempo de resposta varia entre 5~10ms.

O relé (Figura 3- Item F) será o responsável por centralizar e controlar o funcionamento das bombas de água, sempre que for necessário ligar ou desligar uma mini bomba de água o relé irá mudar o seu estado.

2.1.7. Conversor de nível lógico 3.3V-5V bidirecional

Este conversor de nível lógico é um pequeno dispositivo que reduz o nível de 5V para 3,3V ou aumenta o nível de 3,3V a 5V. Este conversor de nível também funciona para dispositivos 2,8V e 1,8V. Cada conversor tem a capacidade de converter 4 pinos do lado alto para 4 pinos do lado baixo.

Este dispositivo (Figura 3- Item G) possibilita ao NodeMCU o controle do módulo relé, uma vez que as portas do NodeMCU trabalham com tensão de operação em 3,3V e o relé em 5V. Portanto, o conversor permite que estes dois dispositivos que trabalham em tensões diferentes comuniquem-se entre si.

2.2. Sistema *web*

Durante a especificação da arquitetura proposta conclui-se que seria necessária a construção de uma interface simples, intuitiva e de fácil acesso para todos os administradores dos sistemas de aquaponia. Visando atender estes requisitos, a interface gráfica utilizada para o gerenciamento e visualização de informações foi disponibilizada em um sistema *web*, desta forma permitindo o acesso via *browser* através de qualquer dispositivo que possua conexão com a internet. No desenvolvimento do sistema *web*, para o *backend* da aplicação foi utilizado o Node.js e no *frontend* o *framework* Bootstrap.

2.2.1 Node.js

O Node.js é um ambiente de execução Javascript *server-side* que permite a criação de aplicações Javascript *standalone*, ou seja, não dependendo de um *browser* para a execução [Lenon, 2018].

No *backend* da aplicação, o Node.js é responsável por recuperar todas as informações em banco de dados referentes aos sistemas de aquaponia e disponibilizá-las para o *frontend*. Além disso, o *script* atua como *subscriber* dos tópicos MQTT que tratam das informações obtidas através dos sensores de temperatura e nível de água, após o recebimento esses valores são persistidos no banco de dados. Ainda relacionado ao MQTT, o *script* também atua como *publisher* em tópicos que tratam do acionamento de atuadores, sendo eles o relé que controla as bombas d'água e o LED que simula um aquecedor de água.

O *script* faz o consumo da Weather API para exibir dados meteorológicos do local onde o sistema de aquaponia está instalado. A descrição do clima no local e a temperatura atual são obtidas através desta API (*Application Programming Interface*) ao passar como parâmetro o nome da cidade cadastrada em banco de dados.

A aplicação Node.js também executa o envio de mensagens de notificação utilizando uma conta criada previamente no Gmail. Portanto, sempre que a temperatura do tanque dos peixes estiver fora dos valores ideais ou o nível dos reservatórios estiverem abaixo do nível ideal, a aplicação dispara mensagens para os e-mails cadastrados informando a ocorrência destes eventos críticos. O próprio *script* ao receber essas informações dos parâmetros do sistema que estejam fora dos intervalos ideais pode acionar os atuadores, sendo possível, acionar as bombas d'água para refrigerar e abastecer o tanque dos peixes ou o LED vermelho (simula um aquecedor) para aumentar a temperatura da água no tanque dos peixes.

Por fim, o *script* também é responsável por persistir no banco de dados todas as mudanças de parâmetros do sistema feitas através da interface gráfica *web*. Logo, os valores de temperatura mínima e máxima, controle das funcionalidades automáticas e cadastro de endereços de e-mails para notificação são informações armazenadas no banco de dados através do *script*.

2.2.2 Bootstrap

Inicialmente chamado de Twitter Blueprint, o Bootstrap é um *framework* desenvolvido em 2010 pelo Twitter com o objetivo de padronizar as ferramentas da empresa, usado para desenvolver aplicações *web* e sites *mobile* com o layout adaptado à tela dos dispositivos. Em 2011, após ser transformado em um *framework* de código aberto teve seu nome alterado para Bootstrap [Souza, 2019].

O *framework* foi escolhido para desenvolvimento do *frontend* da página *web* devido a sua fácil utilização. Somando-se a isso, com o Bootstrap foi desenvolvida uma interface responsiva e assim atendemos um dos principais requisitos da arquitetura proposta que é a construção de uma interface simples, intuitiva e de fácil acesso para todos os administradores dos sistemas de aquaponia.

2.3. MQTT (Message Queue Telemetry Transport)

O MQTT foi criado pela IBM no final da década de 90. Inicialmente era aplicado na vinculação de sensores em *pipelines* de petróleo a satélites [Yuan, 2017]. Logo, devido o

MQTT ser um protocolo de comunicação leve e flexível, este começou a ser utilizado pelos desenvolvedores no mercado de IoT.

Neste projeto em específico, toda a comunicação entre os dispositivos inteligentes com o sistema *web* é feita através de tópicos MQTT. Para cada sensor e atuador da arquitetura existem tópicos responsáveis por permitir a troca de informações entre o NodeMCU com o *script* Node.js. A seguir temos o detalhamento de cada tópico utilizado no projeto:

- Tópico do sensor de temperatura da água:
Neste tópico, o NodeMCU envia (*publisher*) para o *broker* MQTT os valores lidos pelo sensor de temperatura presente no tanque dos peixes. A estrutura da mensagem enviada consiste no envio de duas informações separadas por vírgula, sendo elas o número de identificação do sistema de aquaponia junto com o valor da temperatura lido.
O *script* Node.js recebe (*subscriber*) os valores do sensor de temperatura e após os tratamentos descritos no tópico 2.2.1 deste artigo, os valores são persistidos no banco de dados.
- Tópicos dos sensores de nível de água:
Existem dois tópicos distintos que tratam da troca de informações sobre os sensores de nível de água, um para o tanque dos peixes e outro para o reservatório de abastecimento. Mesmo assim, a estrutura das mensagens enviadas e os dispositivos que atuam como *publisher* e *subscriber* são os mesmos.
Nestes tópicos, o NodeMCU envia (*publisher*) para o *broker* MQTT os valores lidos pelos sensores de nível presentes no tanque dos peixes e reservatório de abastecimento. A estrutura da mensagem enviada consiste no envio de duas informações separadas por vírgula, sendo elas o número de identificação do sistema de aquaponia junto com um caractere que indica se o nível da água está dentro do nível ideal (S) ou abaixo do nível ideal (N).
O *script* Node.js recebe (*subscriber*) os valores destes sensores e após os tratamentos descritos no tópico 2.2.1 deste artigo, os valores são persistidos no banco de dados.
- Tópico da bomba d'água:
Embora a arquitetura proposta contenha duas bombas d'água, apenas uma delas é controlada através da comunicação via protocolo MQTT. A bomba d'água presente no tanque dos peixes deve ter um funcionamento contínuo, garantindo assim o constante bombeamento da água entre o tanque dos peixes e a cama de cultivo, assim dispensando o controle do usuário quanto ao seu funcionamento. Já a bomba d'água instalada no reservatório de abastecimento, precisa ter o seu funcionamento controlado a partir do acionamento manual feito pelos usuários

por meio da interface gráfica *web* ou até mesmo pelo próprio *script* Node.js de forma automática.

Neste tópico, o *script* Node.js envia (*publisher*) para o *broker* MQTT os comandos abastecer ou resfriar como conteúdo da mensagem. Cada bomba d'água possui um tópico exclusivo de acordo com o seu respectivo sistema de aquaponia.

O NodeMCU recebe (*subscriber*) os comandos e aciona o funcionamento da bomba d'água localizada no reservatório de abastecimento para abastecer ou resfriar o tanque dos peixes.

- Tópico do LED (simula um aquecedor de água):

Neste tópico, o *script* Node.js envia (*publisher*) para o *broker* MQTT o comando aquecer como conteúdo da mensagem. Cada LED possui um tópico exclusivo de acordo com o seu respectivo sistema de aquaponia.

O NodeMCU recebe (*subscriber*) o comando e aciona o funcionamento do LED localizado no tanque dos peixes.

2.4. Persistência dos dados

Ao acessar a interface gráfica *web*, os administradores dos sistemas de aquaponia possuem acesso às informações atuais e históricas sobre o tanque dos peixes e reservatório de abastecimento. Somando-se a isso, cada sistema de aquaponia pode ter intervalos de valores ideais para cada parâmetro e uma lista de e-mails que serão notificados sempre que algum parâmetro do sistema estiver fora do ideal. Portanto, essa necessidade de manter dados históricos e personalizados para cada sistema de aquaponia fez necessária a utilização de um banco de dados para armazenamento e recuperação dos dados.

No desenvolvimento deste projeto utilizamos o MySQL que é um gerenciador de banco de dados relacional (RDBMS- *Relational Database Management Systems*) com um modelo de cliente-servidor. Este sistema de gestão foi criado em 1995 por dois engenheiros suecos chamados David Axmark e Michael Widenius. Desde a sua criação, o MySQL vem sofrendo diversas evoluções ao longo do tempo e atualmente é uma das plataformas mais utilizadas no mundo.

O MySQL foi escolhido para este projeto devido os dados serem estruturados e necessitarem de integridade. Sendo assim, o tipo de banco de dados mais recomendado para atender esses requisitos são os relacionais. Além disso, a linguagem para consultas e operações SQL (*Structured Query Language*) utilizada pelo MySQL foi outro fator que influenciou na escolha, uma vez que esta linguagem permite a recuperação de múltiplos registros com um único comando. A facilidade de realizar consultas com SQL também foi considerada ao escolhermos o MySQL como o gerenciador de banco de dados do projeto.

A modelagem do banco de dados construída para o projeto foi concebida visando o armazenamento de informações para diversos sistemas de aquaponia. Desta forma, cada sistema de aquaponia pode ter informações únicas e individuais como: nome do sistema, nome da cidade onde o sistema está instalado, data de início do cultivo, tempo (em dias) mínimo necessário para cultivo, nome da hortaliça que está sendo cultivada, status das funcionalidades, flag indicando se o sistema está ativo, sensores e entre outras informações.

A Figura 4 apresenta a modelagem da base de dados desenvolvida:

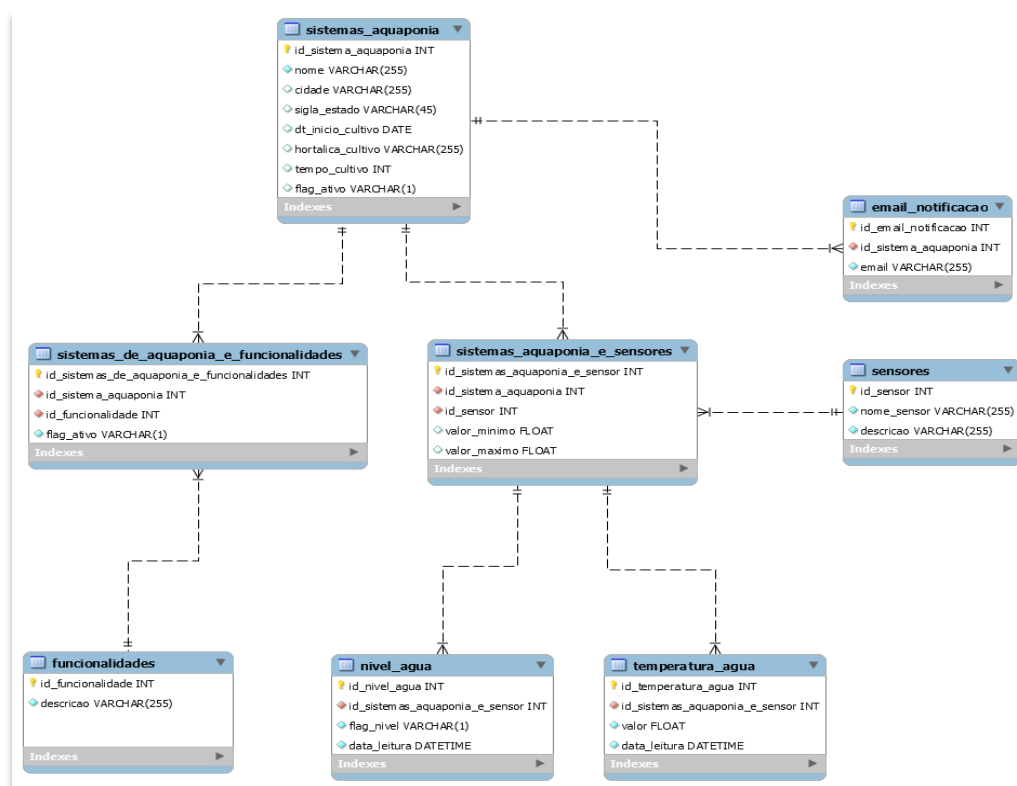


Figura 4: Modelagem do banco de dados utilizado na arquitetura desenvolvida.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3. Plataforma *web* de monitoramento

A plataforma *web* desenvolvida permite que os administradores dos sistemas de aquaponia gerenciem e acompanhem as principais informações referentes ao funcionamento dos sistemas. A plataforma permite gerenciamento de todos os sistemas de aquaponia que estiverem previamente cadastrados no banco de dados. Portanto, é possível acompanhar o progresso do cultivo de cada sistema, os níveis dos reservatórios, a temperatura no tanque dos peixes, o clima no local em que o sistema está instalado e alterar parâmetros do sistema. O sistema *web* possui duas páginas (Figura 5), a página inicial onde podemos selecionar o sistema desejado e são exibidas as informações referentes ao sistema de aquaponia selecionado e a página de configurações onde é possível alterar os parâmetros do sistema selecionado e incluir novos e-mails para a notificação.

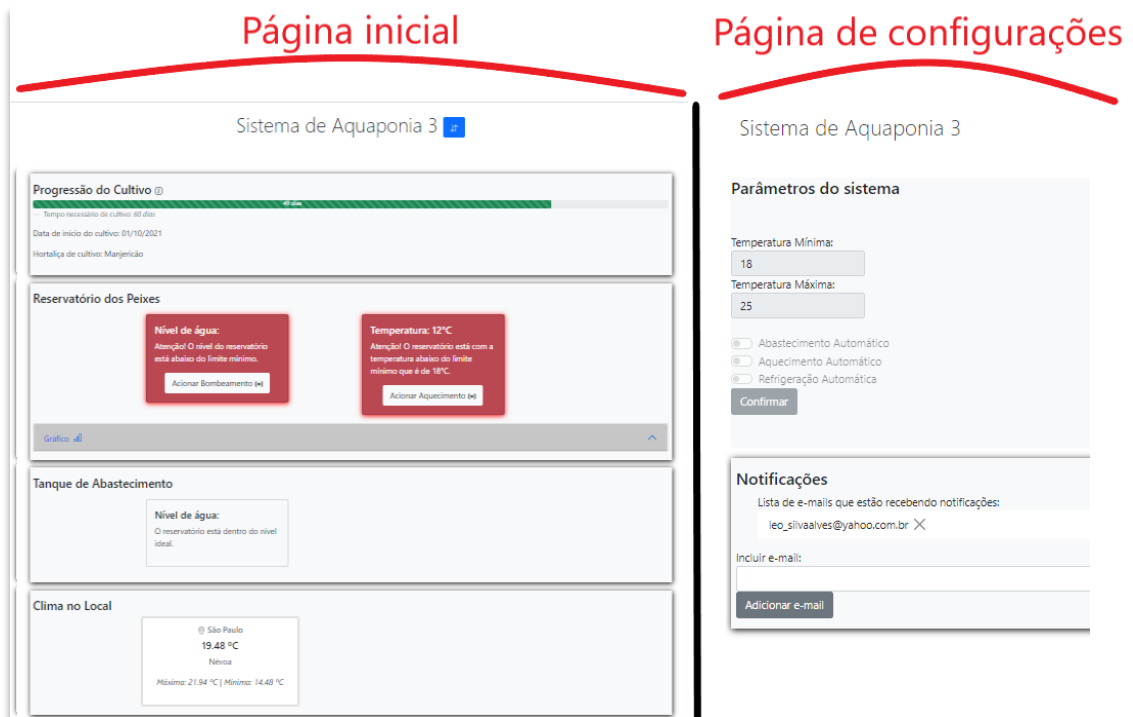


Figura 5: Páginas da plataforma de monitoramento.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Nos tópicos a seguir serão explicadas cada parte da interface gráfica *web* desenvolvida.

3.1 Página Inicial

3.1.1 Progressão do cultivo

Nesta seção da página inicial da plataforma *web* de monitoramento são exibidas informações referentes ao cultivo da hortalça do sistema selecionado. O nome da hortalça e o início do seu cultivo cadastrados são exibidos neste bloco. Para facilitar a visualização da progressão do cultivo, foi utilizada uma barra de progresso que considera a data de início do cultivo, a data atual e a quantidade de dias necessários de cultivo para cultivo da hortalça.

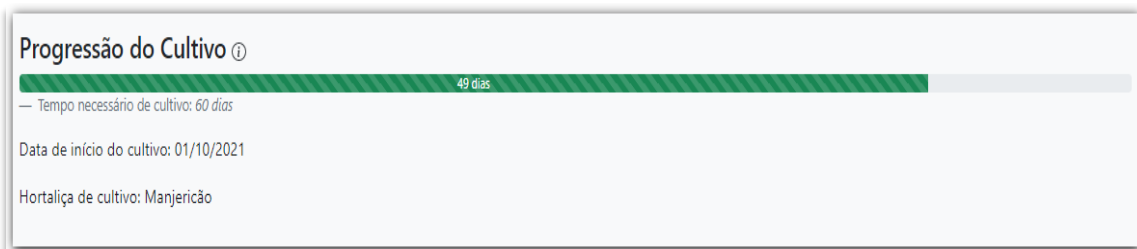


Figura 6: Bloco da página inicial que traz informações referente a progressão do cultivo.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.1.2 Reservatórios

Blocos responsáveis por exibir informações sobre o tanque dos peixes e reservatório de abastecimento do sistema de aquaponia selecionado. Caso algum parâmetro dos reservatórios esteja fora do valor ideal, o campo deste parâmetro será exibido em vermelho e serão exibidos botões para acionar os atuadores a fim de colocar o parâmetro em questão dentro dos valores ideais novamente.

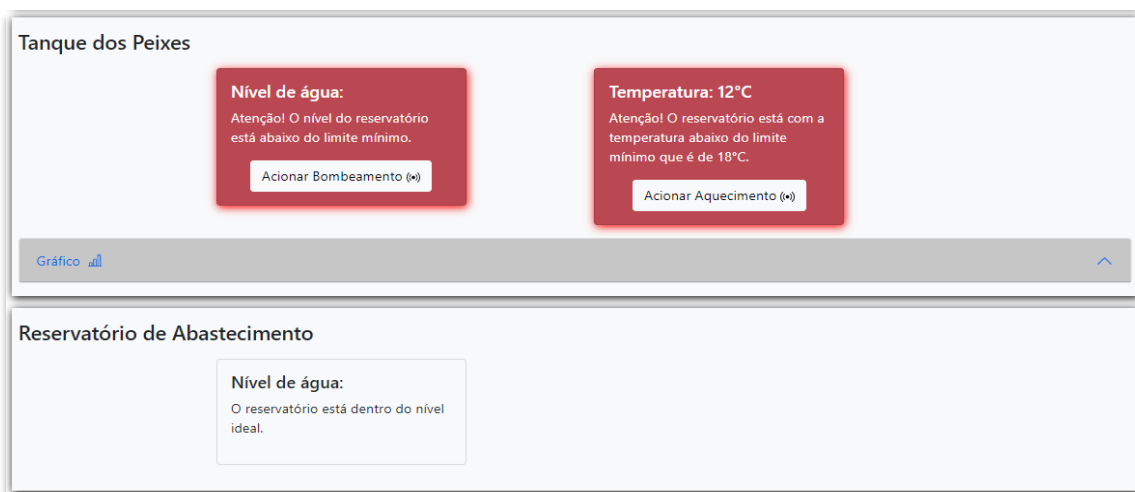


Figura 7: Blocos com informações referentes aos reservatórios do sistema.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

Dentro do bloco sobre o tanque dos peixes, temos um componente *accordion* do Bootstrap chamado “Gráfico” que ao ser expandido exibe o gráfico (Figura 8) com os últimos dez valores lidos pelo sensor de temperatura.

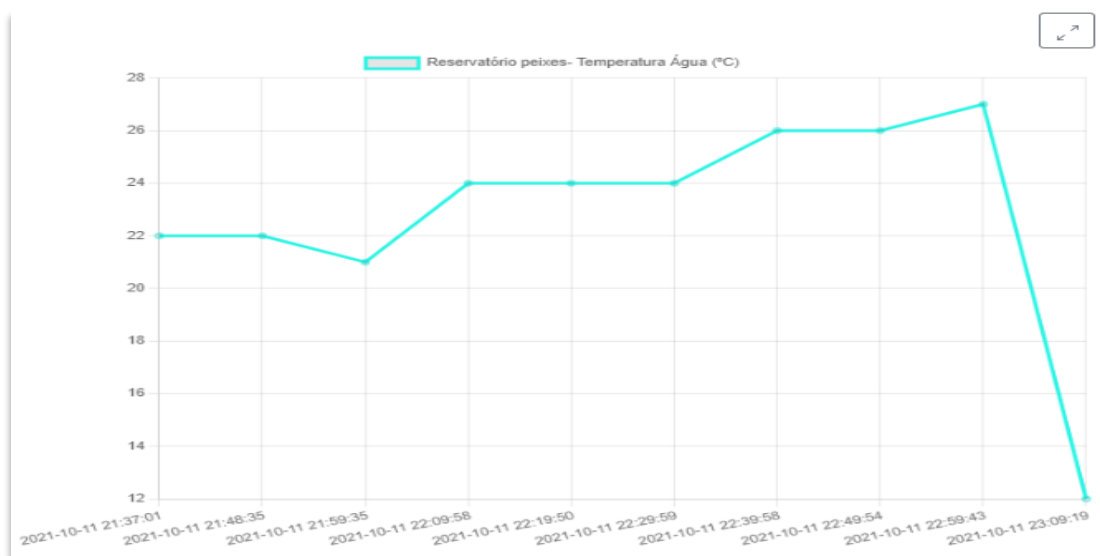


Figura 8: Gráfico de temperatura da água no tanque dos peixes.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.1.3 Clima

Nesta seção da página inicial são exibidas informações referentes ao clima no local onde o sistema de aquaponia está instalado. Portanto, são exibidas as temperaturas mínima e máxima do local e também a temperatura atual. Essas informações são buscadas após o *script* Node.js recuperar o nome da cidade onde o sistema de aquaponia selecionado está instalado e ser feita a busca destas informações na Weather API, conforme descrito no tópico 2.2.1 deste artigo.

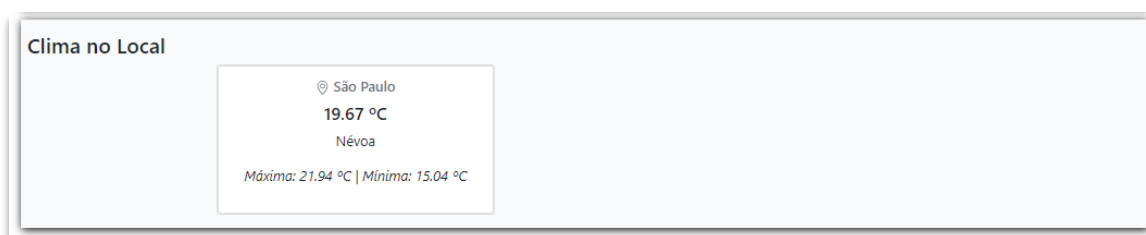


Figura 9: Bloco com informações referentes ao clima no local do sistema de aquaponia.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.2 Página de configurações

3.2.1 Parâmetros do sistema

Nesta seção da página de configurações é possível alterar os valores de alguns parâmetros do sistema de aquaponia selecionado. Sendo possível o administrador do sistema alterar as temperaturas mínima e máxima no tanque dos peixes. O acionamento das funcionalidades automáticas de abastecimento, aquecimento e refrigeração no tanque dos peixes também podem ser realizados nesta seção da página de configurações.

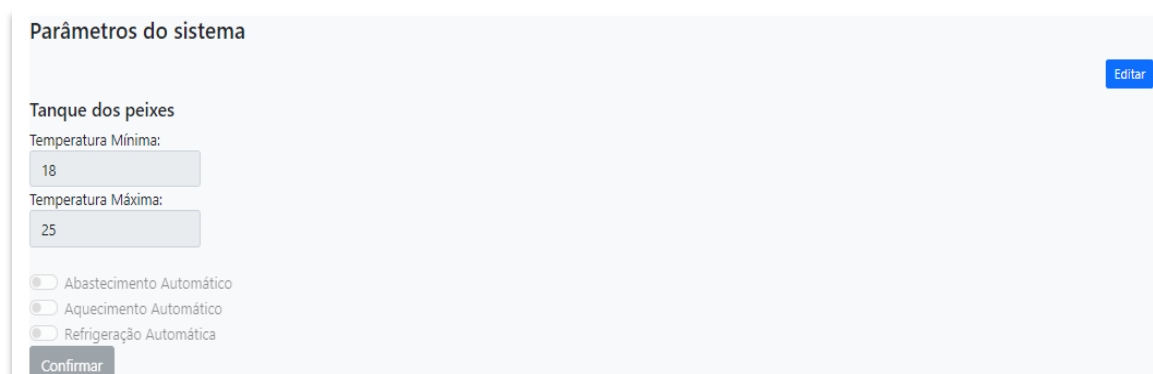
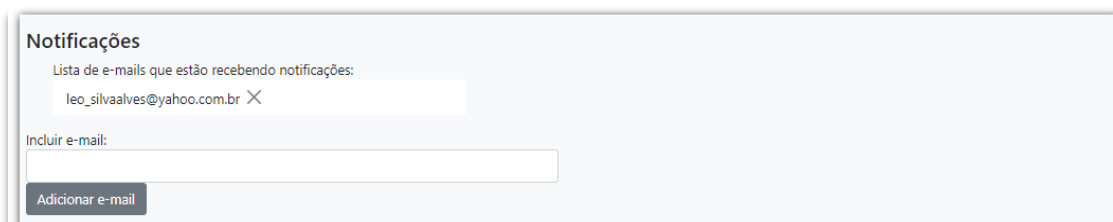


Figura 10: Seção para visualização e alteração dos parâmetros do sistema de aquaponia selecionado.

Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

3.2.2 E-mails para notificação

Nesta seção da página de configurações é feito o controle dos e-mails que serão notificados sempre que algum parâmetro do sistema de aquaponia selecionado estiver fora do intervalo ideal. Sendo possível, incluir e excluir os e-mails.



Notificações

Lista de e-mails que estão recebendo notificações:

leo_silvaalves@yahoo.com.br X

Incluir e-mail:

Adicionar e-mail

Figura 11: Seção para controle dos e-mails de notificação.
Fonte: Elaborado pelos autores (2021).

4. Conclusões

A arquitetura de aquaponia desenvolvida atendeu às expectativas ao permitir o controle de parâmetros que garantem a sobrevivência dos peixes e que favorecem o cultivo das hortaliças. Devido às funcionalidades automáticas de abastecimento, aquecimento e resfriamento do reservatório dos peixes, a manutenção dos principais parâmetros deste tipo de sistema de cultivo foram mantidas com maior facilidade e praticidade. A página *web* desenvolvida facilitou o acompanhamento e o gerenciamento dos sistemas de aquaponia através da visualização de informações atualizadas referentes aos reservatórios, progresso do cultivo, condições climáticas no local e a configuração das funcionalidades automáticas.

Todos os requisitos do projeto foram contemplados utilizando componentes de baixo custo. Portanto, o sistema desenvolvido também contribui com a sustentabilidade e uso racional de recursos naturais ao proporcionar um melhor funcionamento de sistemas de aquaponia sem a necessidade de grandes investimentos. O sistema de aquaponia tem a possibilidade de gerar melhorias importantes na saúde da população, incentivando uma alimentação mais saudável de cultivo próprio de uma forma simples e acessível, reduzindo o consumo de alimentos industrializados.

Existem projetos similares a esta arquitetura de aquaponia proposta no artigo que utilizam as plataformas de prototipagem Arduino e NodeMCU. Entretanto, esses projetos consistem apenas na integração entre a placa de desenvolvimento com sensores e atuadores, sem o desenvolvimento de uma inteligência para otimizar e facilitar o funcionamento de sistemas de aquaponia. A arquitetura proposta neste artigo, além do hardware composto pelo NodeMCU, sensores e atuadores, também possui um fluxo de informações bem estruturadas através da utilização do protocolo MQTT. Essas informações são tratadas pelo script *backend* e persistidas em banco de dados para serem exibidas na interface gráfica web.

Por fim, como proposta para trabalhos futuros e evolução, sugere-se a inclusão de sensor de pH da água. Este sensor não foi incluído no projeto devido seu alto custo, entretanto a

inclusão deste sensor permitiria o acompanhamento do pH da água no tanque dos peixes, um elemento muito importante para o bom desenvolvimento e sobrevivência dos peixes.

5. Referências

- CARNEIRO, P.C.F.; MORAIS, C.A.R.S.; NUNES, M.U.C.; MARIA, A.N.M.; FUJIMOTO, R.Y. Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia. Sergipe. Global Print Editora Gráfica Ltda, 2015. 27 p. Disponível em <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/142630/1/Doc-189.pdf>>. Acesso em: 12/11/2020.
- ENGEPESCA. Prática de aquaponia reaproveitamento para cultivo aquático. 2019. Disponível em: <<https://engepesca.com.br/post/pratica-de-aquaponia-reaproveitamento-para-cultivo-aquatico>>. Acesso em: 13/11/2020.
- GLOBO, Venda de alimentos orgânicos no Brasil cresce no primeiro semestre apesar da pandemia. Disponível em: <<https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2020/07/venda-de-alimentos-organicos-no-brasil-cresce-no-primeiro-semester-apesar-da-pandemia.html>>. Acesso em: 12/11/2020.
- LENON, Node.js – O que é, como funciona e quais as vantagens. 2018. Disponível em: <<https://www.opus-software.com.br/node-js/>>. Acesso em: 10/11/2021.
- LOUSADA, R. Componentes Básicos do Arduino – O que é Resistor, LED, Potenciômetro, Push Button. 2021. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/componentes-basicos-do-arduino-o-que-e-resistor-led-potenciometro-push-button/>>. Acesso em: 20/10/2021.
- LOUSADA, R. Guia completo sobre Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água. 2021. Disponível em: <<https://blog.eletrogate.com/guia-completo-sobre-sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>>. Acesso em: 21/10/2021.
- MATTEDE, H. Como funciona um relé? O que é um relé?. 2017. Disponível em: <<https://www.mundodaeletrica.com.br/como-funciona-um-rele-o-que-e-um-rele/#:~:text=O%20rel%C3%A9%20%C3%A9%20um%20interruptor,mudan%C3%A7a%20do%20estado%20dos%20contatos.>>. Acesso em: 20/10/2021.
- OLIVEIRA, G. NodeMCU – Uma plataforma com características singulares para o seu projeto IoT. 2016. Disponível em: <<https://blogmasterwalkershop.com.br/embarcados/nodemcu/nodemcu-uma-plataforma-com-caracteristicas-singulares-para-o-seu-projeto-iot>>. Acesso em: 20/10/2021.
- SOUZA, I. Bootstrap: saiba neste guia para iniciantes o que é, por que e como usá-lo. 2019. Disponível em: <<https://rockcontent.com/br/blog/bootstrap/>>. Acesso em: 10/11/2021.

TEIXEIRA, S. A temperatura da água é importante para o crescimento dos peixes?. 2018. Disponível em: <<https://www.cpt.com.br/cursos-criacaodepeixes/artigos/a-temperatura-da-agua-e-importante-para-o-crescimento-dos-peixes/>>. Acesso em: 15/11/2020.

YUAN, M. Conhecendo o MQTT. 2017. Disponível em: <<https://developer.ibm.com/br/articles/iot-mqtt-why-good-for-iot/>>. Acesso em: 21/10/2021.