

DESENVOLVIMENTO DE UMA FERRAMENTA IoT PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA NO TRANSPORTE DE PÓS-LARVAS DE CAMARÃO

DEVELOPMENT OF AN IoT TOOL FOR MONITORING WATER QUALITY IN THE TRANSPORTATION OF SHRIMP POST-LARVAE

Gabriel Chaves Moura*

Diego Rocha Lima**

Alexandro Lima Damasceno***

RESUMO

O monitoramento da qualidade da água é um problema complexo devido à diversidade de parâmetros e aos fenômenos naturais envolvidos. Isso influencia diretamente o transporte de pós-larvas de camarão, pois em grande maioria o monitoramento é realizado de forma manual, o que pode comprometer a eficiência, tanto em termos de tempo de transporte quanto de qualidade da pós-larva. Este estudo propõe o desenvolvimento de uma ferramenta IoT dedicada ao monitoramento dos parâmetros da água que poderá ser utilizada no transporte de pós-larvas de camarão. Através dessa ferramenta, os usuários terão a capacidade de visualizar os dados por meio de gráficos e uma interface intuitiva, facilitando a adoção de medidas preventivas ou corretivas para garantir a qualidade da água e, por conseguinte, a sobrevivência das pós-larvas.

Palavras-chave: Qualidade da água. Monitoramento. Pós-larvas de camarão. Transporte. IoT.

ABSTRACT

Water quality monitoring is a complex issue due to the diversity of parameters and natural phenomena involved. This directly impacts the transportation of shrimp post-larvae, as monitoring is currently done manually, which can compromise efficiency in terms of both transportation time and post-larvae quality. This study proposes the development of an IoT tool dedicated to monitoring water parameters, which can be used in the transportation of shrimp post-larvae. Through this tool, users will have the ability to visualize data through graphs and an intuitive

* Graduando em Bacharelado em Ciência da Computação no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE). E-mail: gabriel.chaves.moura06@aluno.ifce.edu.br.

** Doutor em Engenharia da Computação (UFRN), Mestre em Ciência da Computação (UFERSA), Graduado em Ciência da Computação (UERN) e Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: diego.rocha@ifce.edu.br

*** Mestre em Ciência da Computação, Docente do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará (IFCE), Aracati, Ceará, Brasil. E-mail: alexandro.lima@ifce.edu.br.

interface, facilitating the adoption of preventive or corrective measures to ensure water quality and, consequently, the survival of post-larvae.

Keywords: Water quality. Monitoring. Shrimp post-larvae. Transport. IoT.

1 INTRODUÇÃO

A aquicultura tem desempenhado um papel fundamental na produção de alimentos e no suprimento da crescente demanda por produtos de origem aquática. Segundo a Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura (FAO), a aquicultura já é responsável por mais de 50% da produção mundial de peixes destinados ao consumo humano. Nesse contexto, o cultivo do camarão tem se destacado como uma das principais atividades, impulsionada pelo seu alto valor comercial e pelo aumento da demanda nos mercados internacionais.

No entanto, o transporte de pós-larvas de camarão, que corresponde ao estágio inicial do cultivo, apresenta desafios significativos. De acordo com Saputra et al. (2022), esses organismos são extremamente sensíveis a variações nas condições ambientais, como temperatura, salinidade, oxigênio dissolvido e pH da água. Durante o transporte, é essencial manter esses parâmetros em níveis adequados para garantir a sobrevivência e a qualidade. As condições inadequadas durante o transporte podem resultar em altas taxas de mortalidade, perda de qualidade e redução da viabilidade, o que acarreta prejuízos econômicos significativos para os produtores. Além disso, a falta de um monitoramento contínuo das condições de água durante o transporte dificulta a identificação precoce de problemas e a tomada de medidas corretivas imediatas.

Nesse contexto, desponta uma perspectiva de desenvolver um sistema de monitoramento da qualidade da água para auxiliar no transporte de pós-larvas de camarão, denominado de SISMA. Esse sistema permitirá o acompanhamento em tempo real dos parâmetros críticos da água, fornecendo informações precisas aos produtores sobre as condições do ambiente de transporte. Com base nessas informações, será possível adotar medidas preventivas ou corretivas para garantir a qualidade e a sobrevivência das pós-larvas durante todo o processo de transporte.

A pesquisa consiste em investigar como um sistema de monitoramento da água pode ser projetado e implementado de forma eficiente para auxiliar no transporte. Isso envolve a análise de parâmetros críticos da água, como temperatura, turbidez e pH, que impactam diretamente na sobrevivência e qualidade das pós-larvas durante o transporte.

Um estudo realizado por Natan, Gunawan e Dewantara (2019), revelou resultados promissores no controle e monitoramento da água para o cultivo de camarões, demonstrando sua capacidade de monitorar a qualidade da água e manter os níveis de oxigênio dissolvido (OD) com base em experimentos variados. Além disso, o sistema demonstrou adaptabilidade a perturbações e alterações no valor de referência, assegurando uma estabilidade contínua.

Diversos são os fatores que respaldam a importância deste trabalho, destacando-se, entre eles, a importância econômica e ambiental da aquicultura, especialmente no cultivo do camarão. A aquicultura desempenha um papel crucial no suprimento de alimentos, ajudando a enfrentar

os desafios relacionados à segurança alimentar e à demanda crescente por produtos de origem aquática. O cultivo do camarão, em particular, é uma atividade lucrativa e estrategicamente relevante para muitos países.

Além disso, a implementação de um sistema de monitoramento da água também tem um impacto positivo do ponto de vista ambiental. A redução das perdas durante o transporte significa uma utilização mais eficiente dos recursos naturais, como a água e os insumos utilizados no cultivo. Isso contribui para a sustentabilidade da aquicultura, permitindo que a indústria atenda à crescente demanda por camarão sem comprometer os ecossistemas aquáticos e os recursos naturais.

Nesse sentido, os objetivos deste trabalho consistem em projetar e desenvolver um sistema de monitoramento da água para o transporte de pós-larvas de camarão que irá coletar dados de forma contínua durante todo o transporte, registrando as variações de temperatura, pH e salinidade da água. Esses dados serão transmitidos em tempo real para um aplicativo de *smartphone*, que permitirá a visualização das informações de forma clara e intuitiva. O aplicativo também será capaz de alertar os usuários sobre possíveis problemas, como quedas repentinas na concentração de pH ou aumentos na temperatura da água.

Acompanhado disso, o sistema irá armazenar os dados coletados em um banco de dados em nuvem quando houver rede de internet disponível. Isso permitirá aos usuários acessar e analisar os dados posteriormente, fornecendo informações valiosas sobre o transporte de pós-larvas de camarão e ajudando a identificar inconsistências para melhorias.

A metodologia proposta para a realização deste trabalho envolverá a revisão bibliográfica de estudos relacionados à aquicultura, ao transporte de organismos aquáticos e aos sistemas de monitoramento da água. Com base nessa revisão, serão selecionados os parâmetros críticos a serem monitorados e definidos os requisitos para o sistema de monitoramento. A seguir, será realizado o desenvolvimento e teste do protótipo do sistema, em parceria com produtores de camarão, a fim de avaliar sua eficácia e adequação às necessidades da indústria.

Os capítulos seguintes estão organizados como segue. A Seção 2 revisa todos os conceitos-chaves relacionados à temática; já a Seção 3 apresenta alguns trabalhos relacionados a esta pesquisa; a Seção 4 descreve a metodologia utilizada para desenvolvimento da solução proposta; na Seção 5 são apontados os resultados. Na Seção 6 estão contidas as conclusões e discussões sobre fatos importantes percebidos já apresentados, e por fim, as referências bibliográficas.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Evidenciado por Martin et al. (2010), na aquicultura o cultivo de camarões desempenha um papel de extrema importância nos âmbitos econômico e ambiental, além de ser crucial para garantir a segurança alimentar global, uma vez que a produção de camarões cultivados fornece uma fonte de proteína de alta qualidade que é vital para as dietas de muitas populações em todo o mundo. E segundo Barbosa (2022), a carcinicultura é uma indústria econômica significativa em muitos países, gerando empregos e contribuindo substancialmente para suas economias, assim

mostrando-se uma importante fonte de receita para nações produtoras, impulsionando ainda mais sua relevância econômica.

No entanto, além de sua importância econômica, a carcinicultura desempenha um papel relevante na sustentabilidade ambiental. Ela pode ser realizada de maneira responsável, reduzindo a pressão sobre os estoques naturais de camarões e minimizando os impactos ambientais negativos associados à pesca predatória.

A integração da Internet das Coisas (*Internet of Things - IoT*) e de protocolos de comunicação sem fio no cultivo de camarões traz uma série de benefícios. A IoT possibilita o monitoramento ambiental em tempo real, com sensores coletando dados sobre a qualidade da água, temperatura, níveis de potencial hidrogeniônico (pH), salinidade e outros parâmetros essenciais para o cultivo. Isso permite que os produtores ajam rapidamente em caso de desequilíbrios ou problemas ambientais que possam afetar a saúde dos camarões. Além disso, a IoT também permite o controle de alimentação e saúde dos camarões, automatizando processos e reduzindo perdas.

O Bluetooth desempenha um papel significativo neste contexto, oferecendo uma comunicação sem fio de baixo consumo de energia ideal para ambientes aquáticos. Sensores conectados a módulos Bluetooth possibilitam o rastreamento dos tanques de camarões, simplificando o monitoramento de sua saúde e crescimento. Os produtores podem estabelecer conexões entre sensores e dispositivos IoT por meio da tecnologia *Bluetooth Low Energy (BLE)* em smartphones ou tablets, permitindo a transmissão das condições de cultivo. Essa integração também viabiliza uma conexão eficiente com sistemas de controle, resultando na otimização da produção.

Nesse contexto, a integração da IoT e protocolos de comunicação sem fio, como o BLE, tem se tornado cada vez mais relevante, contribuindo para a otimização da produção e para a redução de impactos negativos.

2.1 AQUICULTURA

No Brasil, a aquicultura tem se desenvolvido de forma significativa nas últimas décadas, com destaque para a produção de tilápias, camarões e moluscos. A produção aquícola brasileira vem crescendo a cada ano, gerando emprego e renda para milhares de pessoas em todo o país. Segundo dados da Pesquisa da Pecuária Municipal realizado pelo IBGE (2021), a produção aquícola no Brasil em 2021 foi de 648,5 mil toneladas, registrando um aumento de 1,93% em relação ao ano de 2020. E a produção de camarão criado em cativeiro em 2021 chegou a 78,6 milhões de quilos, 18,1% maior que no ano anterior, sendo o Ceará um dos principais responsáveis por esta atividade com um aumento de 38,8% na sua produção, com destaque a Aracati (Ceará) que teve cerca de 8,7 mil toneladas, contabilizando 25,8% da produção estadual ou 11,1% da produção nacional.

De acordo com Zaine et al. (2020), a qualidade da água desempenha um papel crítico na determinação da qualidade final dos camarões cultivados que chegarão ao mercado. A água é o ambiente vital para esses crustáceos, e sua composição influencia diretamente em seu

desenvolvimento e saúde. Fatores naturais podem afetar o processo de cultivo de camarão, com o aumento do dióxido de carbono e níveis baixos de oxigênio na água. Devido às alimentações e ao gás natural, o pH pode sofrer variações em momentos específicos.

Um dos principais problemas relacionados ao manejo inadequado da água é a contaminação da água por resíduos de alimentos não consumidos, fezes e outros detritos produzidos pelos camarões. Segundo Ahmad et al. (2021) o excesso de matéria orgânica pode levar à eutrofização da água, o que pode reduzir a quantidade de oxigênio disponível para os camarões e outros organismos aquáticos. Além disso, a matéria orgânica em excesso pode incentivar o crescimento de algas e outras plantas aquáticas, o que pode levar à proliferação de patógenos que afetam a saúde dos camarões. Isso não apenas afeta negativamente o bem-estar dos camarões, mas também compromete sua taxa de crescimento e qualidade nutricional.

De acordo com a Associação Brasileira de Criadores de Camarão (2021) para o cultivo bem-sucedido de camarões em sistemas de aquicultura, diversos parâmetros ambientais desempenham papéis cruciais como consta na Tabela 1. A temperatura da água deve ser mantida entre 26°C e 32°C, enquanto a salinidade ideal situa-se entre 15 e 35 partes por trilhão (ppt), embora seja possível variar de 0 a 60 ppt. A transparência da água deve ser de 30 a 50 centímetros, com preferência por uma tonalidade marrom. Os níveis de oxigênio dissolvido precisam superar 5 mg/l, e o pH da água deve se situar entre 7,0 e 9,0, com uma variação diária máxima de 0,5 unidades. A alcalinidade total da água deve variar de 80 a 150 mg/l, e a dureza total deve ser superior a 1000 mg/l. A concentração de amônia total não deve ultrapassar 1,0 mg/l, enquanto a presença de nitrito deve ser mantida abaixo de 0,1 mg/l.

PARÂMETROS	VARIAÇÃO
Temperatura	26 - 32°C
Salinidade	15 - 35 ppt (0 - 60 ppt)
Transparência	30 - 50 cm
Cor	Preferencialmente marrom
Oxigênio dissolvido	> 5 mg/L
pH	7,0 - 9,0 (variação diária máxima de 0,5)
Alcalinidade total	80 - 150 mg/L
Dureza total	> 1000 mg/L
Amônia total	< 1,0 mg/L
Nitrito	< 0,1 mg/L

Tabela 1 – Variações físico-químicas recomendáveis para cultivo de camarões marinhos

Manter esses parâmetros dentro das faixas ideais é fundamental para garantir um ambiente propício ao crescimento e à saúde dos camarões em cultivo, minimizando o estresse e maximizando as chances de sucesso na produção em sistemas de aquicultura. O monitoramento constante e a correção quando necessário são práticas essenciais nesse contexto.

Para transportar ou transferir as pós-larvas (PLs) da fase de larvicultura para os viveiros de produção e engorda, existem diversas opções eficazes. Uma alternativa notável é o emprego de tanques específicos com capacidades de 500 ou 1.000 litros, popularmente chamados de

“caixas transfish”, ilustrado na Figura 1a. Esses tanques são equipados com sistemas de aeração constante e são transportados com o auxílio de caminhões, conforme representado na Figura 1b.

Os caminhões utilizados nesse processo de transporte desempenham um papel crucial na garantia da integridade das PLs durante o deslocamento entre as instalações de larvicultura e os viveiros de produção. Esses veículos são especialmente projetados e adaptados para acomodar as caixas transfish de forma segura, proporcionando condições ambientais adequadas para as pós-larvas durante o trajeto.



(a) Tanque de transporte. “Transfish”.



(b) Caminhão transportando os tanques.

Figura 1 – Realização do transporte de pós-larvas de camarão.

Outra alternativa é utilizar dois sacos plásticos, um dentro do outro, com capacidade de 25 a 30 litros. Estes sacos devem ser preenchidos com 10 a 15 litros de água, adicionando a quantidade desejada de pós-larvas (de 500 a 1.200 por litro). Em seguida, é necessário injetar oxigênio puro na água. Os sacos são então selados com elásticos e colocados em caixas de papelão para distâncias curtas, ou em recipientes de isopor para garantir isolamento térmico em longas distâncias.



Figura 2 – Sacos plásticos para transporte.

De acordo com o Serviço Nacional de Aprendizagem Rural (2017), as condições de temperatura e densidades de estocagem durante o transporte das pós-larvas podem variar com

base no tempo de viagem e na distância percorrida. Em geral, se as pós-larvas estiverem próximas à fazenda de destino, não é necessário reduzir a temperatura da água. No entanto, para viagens com duração superior a 3 horas, recomenda-se utilizar gelo engarrafado para manter a temperatura da água entre 23 e 25°C. Essa redução de temperatura ajuda a diminuir o metabolismo das larvas, resultando em menor consumo de oxigênio e redução na geração de resíduos (fezes) que podem prejudicar a qualidade da água. Além disso, é importante garantir que a salinidade da água durante o transporte seja semelhante àquela esperada no local de destino (15 a 35 ppt).

2.2 INTERNET DAS COISAS

O conceito de Internet das Coisas foi idealizado em 1999 por Kevin Ashton, do MIT, onde sua ideia era conectar objetos físicos à internet para coletar, transmitir e analisar dados sem intervenções humanas. No período em que o conceito foi concebido, eram requeridos notáveis avanços tecnológicos para torná-lo uma realidade.

Desde então, a IoT evoluiu consideravelmente, impulsionada pelo avanço da tecnologia de sensores, conectividade e análise de dados. Segundo Morgar (2014), a IoT refere-se à conexão de objetos cotidianos à internet, permitindo que eles troquem informações e realizem tarefas automatizadas. Esses objetos podem ser desde eletrodomésticos como geladeiras e cafeteiras, até carros e dispositivos médicos. Esse avanço das tecnologias permitiram que dados possam ser usados para melhorar a eficiência e a conveniência em diversos setores, como saúde, transporte, agricultura e indústrias.

Atualmente, à semelhança das definições da IoT, existem várias propostas distintas de arquiteturas IoT, cada uma com suas peculiaridades, que podem envolver o número de camadas ou os nomes atribuídos a elas. No entanto, todas essas propostas compartilham um ponto comum: a presença essencial de três camadas fundamentais, a camada de Percepção, a camada de Rede e a camada de Aplicação. Alguns trabalhos, como o de Mandakam R. Ramaswamy (2015) e Al-Qaseemi et al. (2016), apresentam essa abordagem de três camadas, conforme ilustrado na Figura 3.



Figura 3 – Arquitetura de três camadas IoT.

A **Camada de Percepção**, pode possuir diversos sensores que coletam parâmetros físicos, químicos ou ambientais e converter essas informações em sinais elétricos ou digitais que podem ser processados e interpretados por sistemas eletrônicos. Na **Camada de Rede**, as informações processadas são armazenadas e gerenciadas em bancos de dados, seja na nuvem ou em rede local. Na **Camada de Aplicação**, os dados são processados e analisados, dando origem a aplicações de IoT podendo ter o controle de atuadores e visualização dos dados por meio de gráficos.

A capacidade de monitorar em tempo real os parâmetros físico-químicos da água é uma vantagem significativa na carcinicultura, uma vez que permite aos produtores identificar rapidamente variações indesejáveis e adotar medidas corretivas imediatas. Isso pode ser crucial para a sobrevivência e crescimento saudável das pós-larvas, que são sensíveis às flutuações ambientais. Estudos realizados por Zaine et al. (2020), demonstraram que o monitoramento contínuo dos parâmetros físico-químicos usando sensores IoT podem levar uma melhor qualidade da água, auxiliando produtores tomarem decisões mais premeditadas e consequentemente diminuindo a taxa de mortalidade de pós-larvas de camarão.

2.3 SENSORES

Para compreender o significado e a relevância dos sensores, recorreremos à definição dada por Thomazini e Albuquerque (2020). Os sensores são dispositivos que se destacam por sua sensibilidade a diversas formas de energia, incluindo luz, calor e movimento. Sua função principal é captar e processar essas manifestações energéticas com o objetivo de fornecer informações precisas sobre uma grandeza específica que está sendo medida. Essas grandezas podem variar amplamente, abrangendo parâmetros como temperatura, pressão, velocidade, corrente elétrica, aceleração, posição e muitos outros.

O conceito de sensores transcende sua simples definição técnica, pois esses dispositivos desempenham um papel vital em uma infinidade de aplicações em nossa sociedade moderna. Eles são as “janelas” que nos permitem acessar informações críticas sobre o ambiente ao nosso redor e, consequentemente, desempenham um papel essencial em campos tão diversos como a indústria, a medicina, a automação, a pesquisa científica e até mesmo nossos dispositivos eletrônicos do dia a dia.

A capacidade dos sensores de converter fenômenos físicos e químicos em sinais elétricos ou digitais é o que impulsiona a automação e a inteligência em muitos sistemas. Seja monitorando a temperatura em um laboratório de pesquisa, controlando a pressão em uma linha de produção industrial ou rastreando a posição de um veículo autônomo, os sensores são os olhos e ouvidos dos dispositivos e sistemas que moldam nosso mundo moderno.

Na carcinicultura a coletas de dados da água podem ser feitas através de alguns sensores, como o sensor de temperatura DS18B20 que pode ser visto na Figura 4.

Este sensor é um dispositivo digital de alta precisão, ele utiliza o princípio de mudança de resistência com a variação da temperatura e possui uma faixa de medição de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$. O sensor se comunica através da interface 1-Wire, alimentado pela linha de dados do barramento.



Figura 4 – Sensor de temperatura DS18B20 à prova de água.

É importante fornecer uma alimentação estável e conectar corretamente os pinos VCC, GND e DQ;

O PH-4502C, ilustrado na Figura 5, é um sensor que utiliza um eletrodo de vidro para medir o nível de ácidos ou alcalinidade em soluções. Este dispositivo é projetado para fornecer informações sobre a concentração de íons de hidrogênio (pH) presentes na substância em análise. Ele funciona com base no potencial de célula eletroquímica e tem uma faixa de medição de pH de 0 a 14. O sensor precisa ser calibrado regularmente usando soluções de pH conhecidas. É importante manuseá-lo com cuidado, realizar a limpeza adequada e utilizar um amplificador de pH para obter medições precisas. O sensor deve ser armazenado corretamente em uma solução de armazenamento apropriada;



Figura 5 – Sensor de pH PH-4502C e Eletrodo de medição.

Sensor de Total Dissolved Solids (TDS), em português conhecido como Medidor de Sólidos Totais Dissolvidos - Figura 6, é um dispositivo utilizado para medir a concentração de sólidos dissolvidos em uma solução líquida. Esses sólidos podem ser compostos por diversos tipos de minerais, sais, íons e outras substâncias que estão presentes na água ou em qualquer outra solução líquida. O funcionamento deste sensor é baseado na condutividade elétrica da solução. Quanto mais sólidos estiverem dissolvidos na água, maior será a condutividade elétrica, já que os íons presentes facilitam a passagem de corrente elétrica. O medidor coleta essa condutividade e a converte em uma leitura de TDS. O valor medido pelo TDS Meter é geralmente expresso em partes por trilhão (ppt) ou miligramas por litro (mg/L), operando em uma faixa de medição entre

0 e 1000.

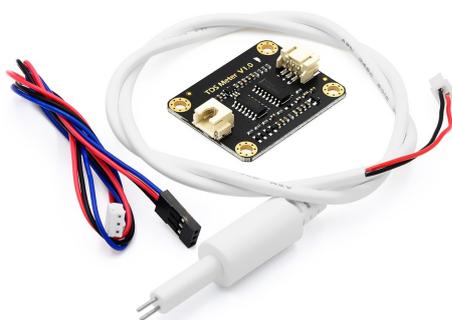


Figura 6 – Sensor TDS Meter v1.0 .

2.4 PROTOCOLO DE COMUNICAÇÃO SEM FIO

O Bluetooth é amplamente reconhecido como uma tecnologia adequada para comunicações de curto alcance em sistemas de IoT. No entanto, as versões tradicionais 2.0 e 3.0 do Bluetooth foram desenvolvidas para suportar comunicações de alta taxa de dados, o que limita sua aplicação em sistemas de baixo consumo de energia e baixa taxa de transferência de dados.

Com o intuito de atender às necessidades de sistemas com demanda por eficiência energética, como os microcontroladores, foi desenvolvido o BLE, uma variação do Bluetooth projetada especialmente para dispositivos que requerem uma comunicação eficiente em termos de energia, com baixo consumo de bateria e menor taxa de dados, tornando-o ideal para aplicações onde a eficiência energética é crucial. Isso permite que dispositivos IoT operem com baterias de longa duração, aumentando a vida útil dos dispositivos sem a necessidade frequente de recarga ou substituição de bateria. Estudos realizados por Cho et al. (2016) indicam que o BLE fornece alta flexibilidade para que os dispositivos que se utilizam deste protocolo sejam ajustados de forma eficiente com diversas aplicações.

O protocolo BLE utiliza uma técnica chamada “*duty cycling*”, em português conhecido como clipe de trabalho, na qual os dispositivos alternam entre períodos de atividade e repouso para reduzir o consumo de energia. É evidenciado por pesquisas realizadas por Liendo et al. (2018), que o “*duty cycling*”, permite que os dispositivos IoT permaneçam em operação por longos períodos sem a necessidade frequente de recarga ou substituição de bateria. Além disso, ele é capaz de estabelecer conexões rápidas e eficientes entre dispositivos. Ele utiliza pacotes de dados menores e intervalos de transmissão mais curtos em comparação ao Bluetooth clássico, o que resulta em tempos de conexão mais rápidos e uma troca de dados mais eficiente.

3 TRABALHOS RELACIONADOS

Nesta seção, serão apresentados trabalhos que buscam aprimorar o monitoramento da água através da utilização de dispositivos IoT.

Na pesquisa realizada por Somantri et al. (2018), é proposto a criação de um sistema de gestão da qualidade da água para fornecer água de boa qualidade para viveiros de camarão. O sistema consiste em sistema de monitoramento de medição da qualidade da água, que exigiu alguns componentes, como alguns sensores relacionados parâmetros de medição como temperatura, pH, oxigênio dissolvido, salinidade, turbidez e nível de água; E sistema de automação de aerador baseado em temporizador. Sendo utilizado dois microcontroladores, um é responsável pela coleta dos dados dos sensores e o outro para o envio das informações para um servidor em nuvem, assim podendo ser visualizado os dados em uma aplicação web. Como resultado foram realizados diversos testes sobre a precisão dos sensores de pH e temperatura, não ultrapassando uma margem de erro de 0,23% constatando um funcionamento correto. E para a automação do aerador foi obtido sucesso no controle do relé com especificações com parâmetros de tempo, que foi dividido em 2 intervalos, manhã e tarde, realizando um revezamento de 4 horas de atividade.

No trabalho de Zaine et al. (2020), também tem o propósito de implementar um sistema de monitoramento para viveiros de camarões, utilizando tecnologia IoT. O foco principal está na visualização de dados relacionados a parâmetros, como temperatura, pH e níveis de oxigênio dissolvido, para otimizar as condições ambientais e a produção nos viveiros. Durante a pesquisa, foram empregados dispositivos IoT para coletar dados em tempo real desses parâmetros da água. A implementação de técnicas de visualização de dados, como gráficos e tabelas, foi essencial para apresentar as informações de forma clara e compreensível. Como resultados foram apresentadas precisões de 95,2% para sensores de temperatura e 99,7% para sensores de pH e notando-se da utilização de cabos mais longos esses resultados passam para 99,3% para sensores de temperatura e 99,9% para sensores de pH. E que a área de monitoramento pode ser subdividida em até 6 partes.

Já a pesquisa de Muchtar, Sanjaya e Hariadi (2017), a ênfase foi na criação de uma Interface Homem-Máquina (IHM) no e-Shrimp, configurado como um sistema de controle inteligente para viveiros de camarão-de-patas-brancas, visando potencializar a produtividade na indústria de criação de camarões. A IHM, atuando como dispositivo de interação entre o usuário e o e-Shrimp, recebe periodicamente informações do módulo de Monitoramento Remoto do Viveiro (RPM) sobre as condições da água do viveiro. Esses dados são então apresentados na tela de LCD e indicador LED da IHM. A pesquisa resultou em um sistema para vários viveiros, capacitando a IHM a receber dados simultâneos de quatro sensores RPM. Além disso, a IHM pode notificar o usuário por meio de alarmes e Serviço de Mensagens Curtas (SMS) em situações de anormalidade na qualidade da água do viveiro. A interação do usuário com o sistema e-Shrimp é possibilitada através do teclado da IHM, permitindo a navegação nos menus, bem como o envio de comandos via SMS.

No estudo realizado por Syauqy et al. (2022), foi implementado um sistema que compreende um dispositivo de monitoramento da qualidade da água baseado em Internet das Coisas (IoT), integrado a um Sistema de Informações de Gerenciamento de Aquicultura de Camarão. A construção do sistema permitiu a aquisição bem-sucedida de todos os parâmetros do sensor, enviando-os eficientemente ao servidor central. A análise dos resultados da calibração e previsão,

utilizando regressão linear, revelou que o erro médio de leitura de dados atingiu 14% para sensores de Oxigênio Dissolvido (OD) e 1% para sensores de temperatura e Sólidos Totais Dissolvidos (TDS).

Características	Somantri et al. (2018)	Zaine et al. (2020)	Muchtar, Sanjaya e Hariadi (2017)	Syauqy et al. (2022)	SISMA
Possui banco de dados offline					X
Possui aplicação móvel		X			X
Utiliza o protocolo BLE					X
Armazenamento em nuvem	X	X		X	X

Tabela 2 – Quadro comparativo

Na Tabela 2, percebe-se que a maioria dos trabalhos opta por armazenamento em nuvem para preservar os dados coletados, sendo o SISMA o único a dispor de um banco de dados offline. Além disso, é notável que, muitos dos trabalhos não se utilizam de aplicações móvel.

4 METODOLOGIA

O objetivo principal deste estudo é o aperfeiçoamento do monitoramento das condições da água que poderá ser utilizado durante o processo de transporte de pós-larvas de camarão. Tradicionalmente, a medição de parâmetros da água, como temperatura, pH e salinidade, é realizada manualmente, o que consome um tempo considerável e pode resultar em atrasos no transporte. No entanto, este projeto propõe a implementação de um sistema de sensoriamento que realizará a coleta automática desses dados durante o transporte. Isso viabilizará o monitoramento em tempo real ao longo de todo o percurso, bem como o armazenamento de informações obtidas por sensores. Isso não apenas economizará tempo, mas também oferecerá um maior controle e precisão na gestão das condições da água, resultando em uma otimização significativa no processo de transporte de pós-larvas de camarão, o que, por sua vez, promoverá maior eficiência e qualidade.

Na Figura 7, é apresentado o fluxo do sistema, que está dividido em três camadas, conforme descritas da esquerda para a direita. A primeira camada, denominada de percepção, compreende os sensores e o ESP32 atuando como um intermediador. Este dispositivo é responsável por estabelecer a comunicação entre os sensores e a camada de aplicação, utilizando a tecnologia Bluetooth.

A segunda camada, chamada de aplicação, consiste na aplicação móvel. Esta camada permite aos usuários visualizar as informações coletadas em tempo real. Além disso, a aplicação móvel é capaz de enviar as informações para a terceira camada, denominada de rede.

Na camada de rede, todos os dados coletados pelos sensores são armazenados. Isso ocorre por meio de requisições HTTP, que permitem a transferência eficiente dos dados da camada de aplicação para a camada de rede. Desta forma, o sistema oferece uma estrutura coesa e organizada, permitindo a captura, monitoramento e armazenamento eficaz dos dados provenientes dos sensores.

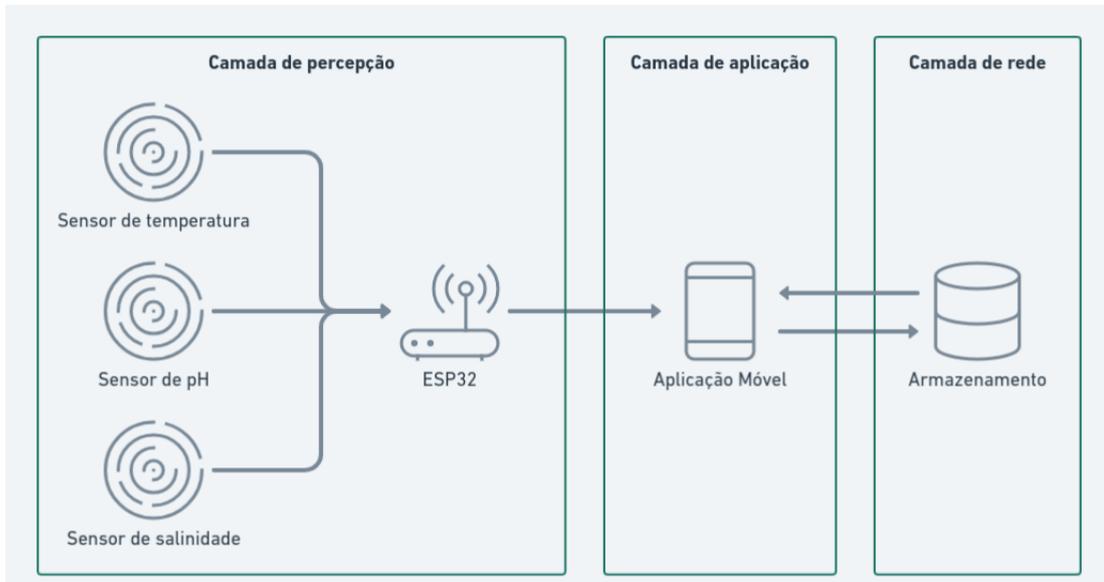


Figura 7 – Arquitetura do SISMA.

4.1 CAMADA DE PERCEPÇÃO

A camada de percepção consiste na solução de hardware do projeto e deve ser utilizado acoplado dentro das caixas de transporte para monitorar as condições físico-químicas da água. Conforme mostra a Figura 7 esta camada é composta por quatro componentes, um SparkFun LoRa Gateway 1-Channel (ESP32) e três Sensores. Cada componente é explicado em detalhes a seguir e, ao final, é detalhado o circuito completo do SISMA.

4.1.1 MICROCONTROLADOR ESP32

O microcontrolador ESP32, desenvolvido pela Espressif Systems, é um componente eletrônico altamente versátil que desempenha um papel fundamental em uma ampla gama de aplicações de Internet das Coisas (IoT). Equipado com Wi-Fi (802.11 b/g/n), Bluetooth e, em particular, a eficiente tecnologia Bluetooth de Baixa Energia (BLE), oferecer uma ampla variedade de portas GPIO, interfaces de comunicação padrão e otimizações de energia, tornando-o adequado para o SISMA, agregando vantagens em termos de versatilidade e interoperabilidade.

No SISMA o ESP32 é responsável por interagir com os sensores, fornecendo-os energia e lendo os dados coletados. Além disso o ESP32 também age como gateway, enviando os dados coletados para a camada de aplicação. A conexão entre o microcontrolador e a camada de aplicação se dá através do BLE.

4.1.2 IMPLEMENTAÇÃO SENSORIAL

O SISMA utiliza 3 sensores, sendo: O DS18B20, responsável por medir a temperatura da água, o PH-4502C que juntamente de um eletrodo é responsável por medir o potencial hidrogeniônico (pH) e por fim o sensor de sólido totais TDS Meter, na qual é utilizado para medir a salinidade da água. O código inserido no ESP32 é responsável por manipular os sensores e definir a frequência de coleta dos dados para a cada 30 minutos.

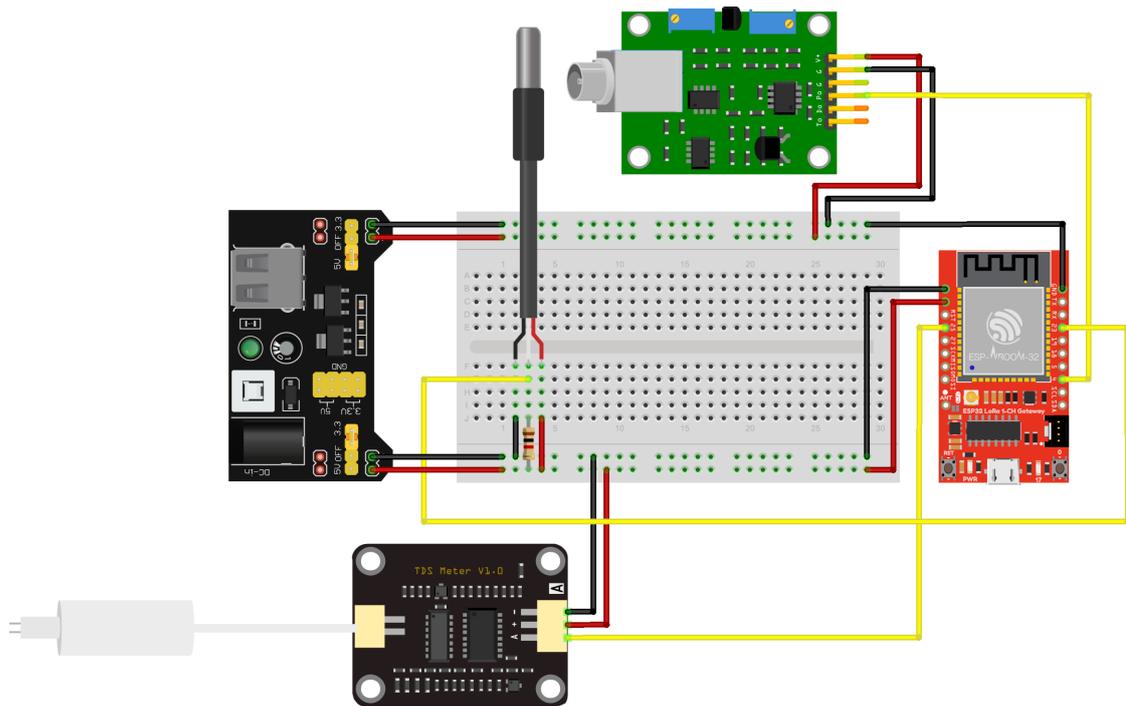


Figura 8 – Circuito da camada de percepção.

A Figura 8 apresenta o esquema do circuito na camada de percepção. O primeiro elemento é a Fonte, encarregada de fornecer energia ao microcontrolador e aos sensores. Esta fonte ajusta a corrente alternada de 6.5V 12V em corrente contínua, com valores de 5V e 3.3V, adequados para os componentes específicos. Um ponto importante, que não foi discutido anteriormente, é o uso de conversores pelos sensores de pH e salinidade (PH-4502C e TDS Meter, respectivamente). Esses conversores desempenham a função de criar circuitos que medem a diferença entre a corrente de entrada (que alimenta os sensores) e a corrente de saída (o valor retornado após o sensor realizar a leitura da solução). Além disso, é relevante observar que o sensor de temperatura realiza leituras digitais, enquanto os outros sensores efetuam leituras analógicas.

No caso do sensor de temperatura (DS18B20), foi utilizado em conjunto com um resistor de 1k Ohms para garantir a precisão na leitura da temperatura. Quanto ao PH-4502C, como ilustrado na figura, possui apenas três fios conectados a ele, uma vez que no SISMA não requer o uso das outras três conexões.

4.2 CAMADA DE APLICAÇÃO

A camada de aplicação desempenha um papel fundamental na arquitetura, visando proporcionar aos usuários uma experiência de usuário (*User Experience - UX*) moderna e amigável. Nesse contexto, foram feitas escolhas cuidadosas não apenas em relação à tecnologia, mas também às cores para tornar o ambiente do aplicativo móvel fácil de usar e esteticamente agradável. As cores escolhidas também desempenham um papel importante na acessibilidade, garantindo que o aplicativo seja utilizável por um público amplo e diversificado.

Para criar a interface do usuário (*User Interface - UI*) do aplicativo, utilizamos o *React Native*, uma biblioteca *JavaScript* inovadora lançada pelo Facebook em 2018. Essa escolha permite o desenvolvimento de aplicativos móveis nativos para iOS e Android com uma base de código compartilhada, garantindo consistência na experiência do usuário em ambas as plataformas. A interface foi elaborada de forma que o aplicativo fosse de fácil utilização sem necessitar de passos complexos para sua utilização das ferramentas e sua navegação, visando principalmente a otimização do tempo.

Uma biblioteca necessária para o funcionamento da camada de aplicação é a *react-native-ble-manager*, que é uma ferramenta valiosa para desenvolvedores que desejam incorporar funcionalidades de *Bluetooth Low Energy (BLE)* em aplicativos móveis *React Native*. Ela oferece uma série de recursos e vantagens que simplificam a integração e o controle de dispositivos BLE em seus aplicativos, permitindo a descoberta, conexão, leitura e gravação de características de dispositivos BLE. Além disso, a biblioteca possibilita a recepção de notificações de mudanças em tempo real e oferece controle avançado sobre dispositivos, suporta *reconnects* de conexão, o que é útil para recuperação automática de conexões perdidas temporariamente e a multi-conexão dos dispositivos.

Além disso, o uso do *Expo*, uma ferramenta de desenvolvimento rápido, simplifica a criação do aplicativo. Ele fornece abstrações úteis, facilitando o acesso a *APIs* de dispositivo e o empacotamento do aplicativo para distribuição.

A combinação do *React Native*, *Expo* e *Typescript* oferece uma abordagem poderosa para o desenvolvimento de interfaces de usuário em aplicativos móveis. Ela aproveita a reutilização de código e cria uma base comum para iOS e Android, garantindo uma experiência consistente, com a aplicação de uma paleta de cores harmoniosa que reflete a identidade da marca. A integração do *Typescript* acrescenta segurança e robustez ao código, contribuindo para a prevenção de erros comuns e tornando a manutenção e a evolução do aplicativo mais eficientes.

Essas escolhas de tecnologia e abordagem foram feitas com o objetivo de oferecer aos usuários não apenas uma experiência funcional, mas também visualmente agradável e acessível, contribuindo para a satisfação e o envolvimento dos usuários com o aplicativo.

4.3 CAMADA DE REDE

A camada de rede tem objetivo de armazenar todos os dados que estão sendo coletados pela camada de sensoriamento e disponibilizarem para o usuário poderem observar posterior-

mente na camada de visualização.

Esta camada foi implementada por meio de uma *API* desenvolvida em *Node.js* e *Prisma* como sua *ORM*, oferecendo uma interface para interagir com o banco de dados *PostgreSQL*. *Node.js* é uma plataforma de desenvolvimento de aplicações em *JavaScript* que permite a criação de servidores e *APIs* eficientes e escaláveis. Além disso, o uso do *Typescript*, uma linguagem de programação que adiciona recursos de tipagem estática ao *JavaScript*, traz maior segurança e legibilidade ao código.

O *PostgreSQL* é um sistema de gerenciamento de banco de dados relacional que fornece uma plataforma robusta para armazenamento e consulta de informações. Ele é amplamente utilizado devido à sua confiabilidade, desempenho e suporte a recursos avançados, como transações ACID (Atomicidade, Consistência, Isolamento e Durabilidade).

O *Prisma*, um *Object-Relational Mapping (ORM)*, atua como uma camada intermediária entre o banco de dados *PostgreSQL* e a *API*. Ele fornece uma abstração da estrutura do banco de dados, permitindo que os desenvolvedores manipulem os dados de forma mais intuitiva e simplificada, utilizando objetos e métodos em vez de consultas SQL diretas. O *Prisma* também cuida da geração de consultas otimizadas e da sincronização automática do esquema do banco de dados com o código da aplicação.

As requisições vindas do cliente são recebidas pela *API*, que utiliza o *Prisma* para interagir com o banco de dados *PostgreSQL*. Isso envolve operações como criação, leitura, atualização e exclusão de dados (CRUD - Create, read, update and delete), bem como consultas mais complexas que envolvem junções de tabelas, filtragens avançadas e ordenações.

5 RESULTADOS

Nesta seção será apresentado a implementação das três camadas do SISMA, resultado da metodologia aplicada na Seção 3. São apresentados o produto viável mínimo (MVP) e descrita quais suas funcionalidades.

5.1 CAMADA DE PERCEPÇÃO

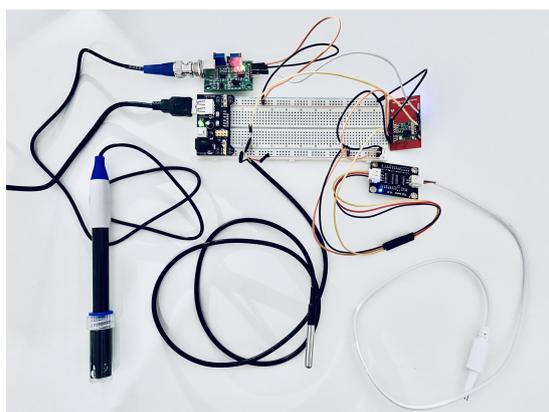
A implementação da camada de percepção no SISMA revelou resultados significativos no monitoramento das condições físico-químicas da água para o transporte de pós-larvas de camarão. Essa camada, composta pelo microcontrolador *ESP32* e três sensores especializados, desempenha um papel crucial na coleta precisa de dados para análise.

O microcontrolador *ESP32*, da *Espressif Systems*, mostrou-se uma escolha acertada para o SISMA. Equipado com tecnologia Bluetooth de Baixa Energia (BLE), ofereceu versatilidade e interoperabilidade atuando como o ponto central de interação com os sensores, fornecendo energia e coletando dados. Sua capacidade de funcionar como um *gateway*, enviando dados para a camada de aplicação por meio do BLE, adiciona uma dimensão valiosa à eficiência do sistema.

A abordagem cuidadosa na calibração dos sensores traduziu-se em resultados altamente confiáveis. A frequência de coleta de dados a cada 30 minutos proporcionou uma visão detalhada

das condições físico-químicas da água. A precisão e confiabilidade desses resultados estabeleceram o SISMA como uma ferramenta valiosa para o monitoramento contínuo da qualidade da água. Os dados obtidos constituem uma base sólida para análises subsequentes, destacando o êxito na implementação da camada de percepção do sistema.

Na Figura 9, temos o circuito implementado, sendo o passo inicial para o monitoramento da qualidade da água.



(a) Circuito da camada de percepção.



(b) Sensores coletando dados da água.

Figura 9 – Implementações do SISMA.

Na Figura 9a é apresentado todos os componentes devidamente conectados e disponíveis para realizar a transmissão dos dados para a camada de aplicação. Já a Figura 9 é apresentado a forma que os sensores de temperatura, pH e salinidade ficam dentro da água, onde será o ponto de coleta.

5.2 CAMADA DE APLICAÇÃO

A camada de aplicação compreende um aplicativo para dispositivos móveis, destinado a auxiliar o técnico responsável pelo transporte. Esse aplicativo é projetado para facilitar a visualização de dados coletados pelos sensores presentes na camada de percepção e na tomada de decisões.

Na Figura 10, é apresentado a primeira ação necessária para utilização da aplicação que é a autenticação ou cadastro de usuário, que se faz necessário para a visualização e armazenar os dados.

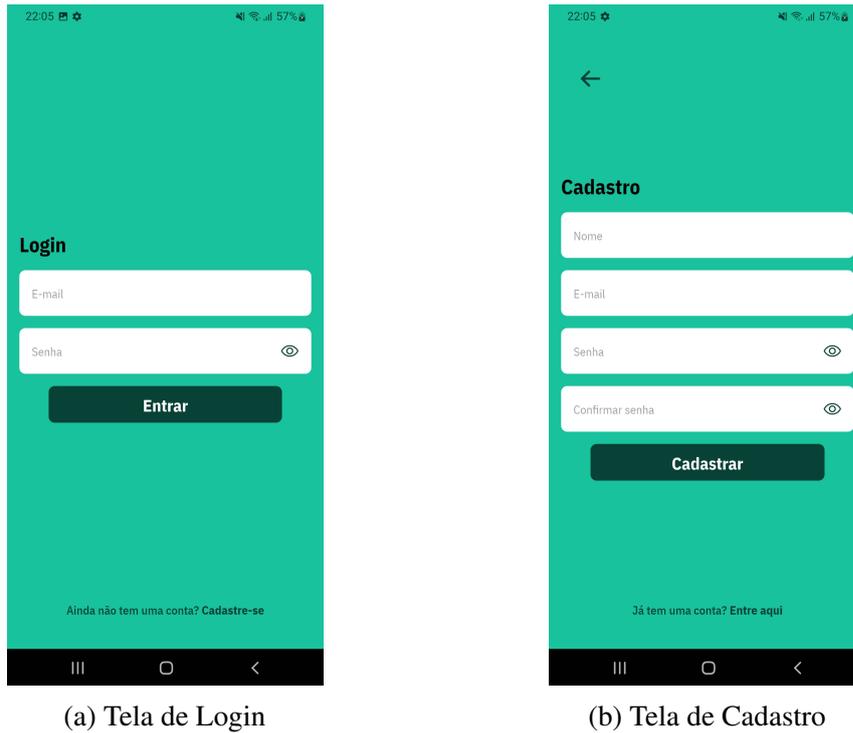


Figura 10 – Telas de autenticação.

Na Figura 10a, é solicitado o e-mail e a senha, credenciais necessárias para autenticação do usuário. Dois botões sendo eles, o primeiro para a realização da requisição que será validada pela camada de rede, e em sequência o botão para o cadastro do usuário. Já a Figura 10b, é solicitado o nome, e-mail, senha e a confirmação de senha, campos esses que são utilizados para o cadastro do usuário na aplicação.

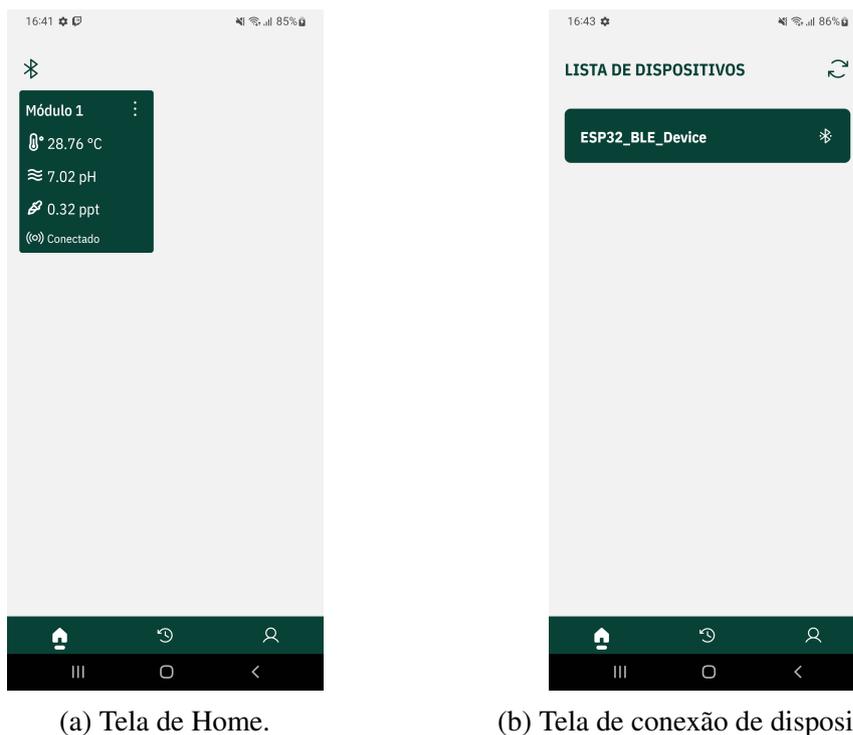


Figura 11 – Fluxo principal da aplicação.

Com a realização da autenticação, é apresentado a tela principal ilustrada na Figura 11a. A tela principal é onde visualiza-se as informações de temperatura, pH e salinidade, respectivamente de cada módulo. E temos um botão com ícone do bluetooth no canto superior esquerdo que é utilizado para a navegação que redirecionará para uma tela onde será possível a conexões com os módulos. Vale ressaltar que por motivos de *UX* e *UI* foi desenvolvido uma barra inferior para a navegação entre as principais funcionalidades da aplicação, a visualização dos dados, histórico de relatórios e tela de perfil do usuário.

A Figura 11b, apresenta um botão para a realização de busca de novos dispositivos e uma lista com os dispositivos próximos, na qual cada item dessa lista poderá ser pressionado para estabelecer uma conexão.

É relevante destacar que a aplicação foi concebida de modo a minimizar a dependência constante de conexão de banda larga. Isso se justifica pela possibilidade de áreas do trajeto não contarem com acesso à internet em determinados momentos. O aplicativo possui um banco de dados interno onde é salvo as informações e assim que for estabelecido uma conexão será realizado o envio para a camada de rede.

5.3 ANÁLISE DE RESULTADOS

Ambiente	Água doce	Água salgada
Temperatura	29.8 °C	28.9 °C
pH	8.04	7.12
salinidade	0 ppt	27.3 ppt

Tabela 3 – Resultados coletados nos testes

Ambiente	Água doce	Água salgada
Temperatura	26 - 32 °C	26 - 32 °C
pH	7 - 9	7 - 9
salinidade	0.5 - 0.05 ppt	15 - 35 ppt

Tabela 4 – Valores conhecidos para cada ambiente

Os resultados obtidos nos testes, conforme apresentados na Tabela 3, fornecem informações valiosas sobre as condições de temperatura, pH e salinidade da água doce e salgada nos locais de estudo. Em comparação com os valores conhecidos para cada ambiente, listados na Tabela 4, é possível realizar uma análise mais aprofundada sobre a eficácia dos testes realizados.

Para a água doce, os resultados indicaram uma temperatura de 29.8 °C, pH de 8.04 e ausência de salinidade (0 ppt). Estes valores estão em conformidade com as expectativas para a água doce, com a temperatura e o pH dentro das faixas desejadas, e a salinidade condizente com a ausência esperada. No caso da água salgada, a temperatura de 28.9 °C está ligeiramente abaixo da metade da faixa de 26 - 32 °C, mas ainda dentro dos limites aceitáveis. O pH de 7.12 está na parte inferior da faixa aceitável de 7 a 9, mas ainda dentro dos parâmetros desejados. A salinidade de 27.3 ppt está próxima do valor máximo esperado de 35 ppt.

A comparação entre os resultados obtidos e os valores conhecidos revela uma concordância geral entre as condições reais e as expectativas para ambos os ambientes. No entanto, é importante salientar que houveram pequenas variações, especialmente na temperatura e no pH. Essas diferenças podem ser resultado de flutuações naturais, mas que estão dentro das margens de erro dos sensores. As análises destacam a utilidade dos testes realizados, indicando que, em geral, os resultados estão em conformidade com as condições esperadas para água doce e salgada.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma ferramenta destinada ao monitoramento dos parâmetros da água durante o transporte de pós-larvas de camarão. A abordagem adotada envolve a utilização de tecnologias IoT, que integram sensores específicos para coleta de dados, visando aprimorar a eficiência do processo.

Para garantir um monitoramento, foram incorporados sensores de temperatura DS18B20, pH PH-4502C e salinidade *TDS Meter* à camada de percepção. A combinação entre esses sensores oferece uma perspectiva abrangente sobre a qualidade da água, desempenhando um papel fundamental na preservação da saúde e na sobrevivência das pós-larvas de camarão. Outro componente da camada de percepção é o microcontrolador ESP32, escolhido devido à sua implementação nativa com *Bluetooth Low Energy* (BLE). A integração do ESP32 com a tecnologia BLE possibilita a comunicação eficiente entre a camada de percepção e a camada de aplicação.

A escolha do *React-Native* e *Typescript* para o desenvolvimento da camada de aplicação proporciona não apenas uma experiência de usuário mais fluida, mas também facilita a manutenção e escalabilidade do aplicativo. Essa tecnologia permite a criação de aplicativos multiplataforma eficientes, o que contribui para a acessibilidade das ferramentas de monitoramento em diversos dispositivos móveis.

Além disso, nos bastidores, a lógica de armazenamento dos dados da aplicação móvel foi suportada por um *backend* robusto desenvolvido com *Node.js* e *Typescript*. O uso de *Node.js* proporciona eficiência na manipulação de eventos assíncronos, enquanto *Typescript* traz benefícios adicionais em termos de tipagem estática, melhorando a manutenção do código. O banco de dados *PostgreSQL* foi escolhido para armazenar os dados, e a interação com o banco foi facilitada pelo *Prisma ORM*, contribuindo para a eficácia na manipulação de dados e garantindo a integridade das informações coletadas.

Os resultados obtidos fornecem uma base sólida para a avaliação da qualidade da água, destacando implicações significativas para a sobrevivência das pós-larvas durante o transporte. No entanto, algumas dificuldades foram identificadas, especialmente no que diz respeito à operação dos sensores utilizados, notadamente os de pH e salinidade. A sensibilidade desses sensores exige uma manipulação extremamente cuidadosa e uma calibração precisa, o que, por sua vez, pode introduzir uma fonte adicional de incerteza nos resultados.

Outro aspecto é a limitada interação entre os diversos atores da cadeia produtiva da aquicultura na região. A falta de integração entre produtores, pesquisadores, órgãos reguladores e demais partes interessadas impede a troca eficiente de conhecimentos e a identificação conjunta de soluções para os obstáculos enfrentados.

Para trabalhos futuros, aprimoramentos na ferramenta podem ser realizados, incluindo implantação do ferramenta nas caixas de transporte e a incorporação de mais sensores que possam aprimorar a precisão dos resultados da qualidade da água, como, por exemplo, um sensor de oxigênio dissolvido. Adicionalmente, uma automação relacionada à aeração da água pode ser integrada. Além disso, como parte dos trabalhos futuros, planeja-se aperfeiçoar a funcionalidade de criação e personalização de alertas, permitindo que o usuário seja prontamente notificado em caso de qualquer alteração nos parâmetros monitorados.

REFERÊNCIAS

- ABCCAM. **Manual de Boas Práticas de Manejo e de Biossegurança para a Carcinicultura Brasileira**. ABCC - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CRIADORES DE CAMARÃO, 2021. Disponível em: <<https://abccam.com.br/2021/09/manual-de-boas-praticas-de-manejo-e-de-biosseguranca-para-a-carcinicultura-brasileira-junho-2021>>.
- AHMAD, A. et al. Aquaculture industry: Supply and demand, best practices, effluent and its current issues and treatment technology. **Journal of Environmental Management**, v. 287, p. 112271, 2021. ISSN 0301-4797. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479721003339>>.
- AL-QASEEMI, S. A. et al. Iot architecture challenges and issues: Lack of standardization. p. 731–738, 2016.
- BARBOSA, A. B. R. **História e evolução da carcinicultura no Rio Grande do Norte**. Dissertação (B.S. thesis) — Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.
- CHO, K. et al. Performance analysis of device discovery of bluetooth low energy (ble) networks. **Computer Communications**, v. 81, p. 72–85, 2016. ISSN 0140-3664. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140366415003886>>.
- LIENDO, A. et al. Efficient bluetooth low energy operation for low duty cycle applications. p. 1–7, 2018.
- MADAKAM R. RAMASWAMY, S. T. S. Internet of things (iot): A literature review. **Journal of Computer and Communications**, Vol.03No.05, 2015. Disponível em: <<https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=56616>>.
- MORGAN, J. **A Simple Explanation Of 'The Internet Of Things'**. 2014.
- MUCHTAR, E.; SANJAYA, E.; HARIADI, F. I. Human machine interface on e-shrimp as smart control system for whiteleg shrimp pond. In: **2017 International Symposium on Electronics and Smart Devices (ISESD)**. [S.l.]: IEEE, 2017. p. 24–29. ISBN 9781538627785.
- NATAN, O.; GUNAWAN, A. I.; DEWANTARA, B. S. B. Design and implementation of embedded water quality control and monitoring system for indoor shrimp cultivation. **Emitter : International Journal of Engineering Technology**, Politeknik Elektronika Negeri Surabaya, v. 7, n. 1, p. 129–150, 2019. ISSN 2355-391X.

PPM. **Pesquisa da Pecuária Municipal**. IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2021. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/84/ppm_2021_v49_br_informativo.pdf>.

SAPUTRA, H. K. et al. The technology of shrimp larvae transportation: ecophysiology and bioeconomy effects on high stocking density shrimp *litopenaeus vannamei*. **E3S Web of Conferences**, EDP Sciences, Les Ulis, v. 348, p. 38, 2022. ISSN 2267-1242.

SENAR, S. N. D. A. R. Produção de camarão marinho: preparação do viveiro, povoamento, manejo e despesca. 2017. Disponível em: <<https://www.cnabrazil.org.br/assets/arquivos/167-PRODU%C3%87%C3%83O.pdf>>.

SMITH, M. D. et al. Sustainability and global seafood. **Science**, v. 327, n. 5967, p. 784–786, 2010. Disponível em: <<https://www.science.org/doi/abs/10.1126/science.1185345>>.

SOMANTRI, M. et al. Design of water quality control for shrimp pond using sensor-cloud integration. In: **2018 5th International Conference on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)**. [S.l.]: IEEE, 2018. p. 331–335. ISBN 9781538655290.

SYAUQY, D. et al. Automated continuous iot-based monitoring system for vaname shrimp cultivation management. **Computer Engineering & Applications Journal**, v. 11, n. 2, 2022.

THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. de. **Sensores industriais: fundamentos e aplicações**. [S.l.]: Saraiva Educação SA, 2020.

ZAINI, A.; WULANDARI, D. P.; WULANDARI, R. Data visualization on shrimp pond monitoring system based on temperature, ph, and do (dissolved oxygen) with iot. p. 1–6, 2020.