



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE COMPUTAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

Isaias Abner Lima Saraiva

AquaFeed: Um Sistema de Monitoramento dos Parâmetros
Físico-Químicos e Recomendação para Auxílio do Manejo
Alimentar na Piscicultura

Manaus
2024

Isaias Abner Lima Saraiva

AquaFeed: Um Sistema de Monitoramento dos Parâmetros
Físico-Químicos e Recomendação para Auxílio do Manejo
Alimentar na Piscicultura

Dissertação de Mestrado apresentada ao
Programa de Pós-Graduação em Informá-
tica do Instituto de Computação da Univer-
sidade Federal do Amazonas como requisito
parcial para obtenção do título de Mestre
em Ciência da Computação.

Orientador: Prof. Dr. Vicente Ferreira de
Lucena Junior

Coorientador: Prof. Dr. Thiago Marinho
Pereira

Manaus
2024

Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

S243a Saraiva, Isaias Abner Lima
AquaFeed: um sistema de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e recomendação para auxílio do manejo alimentar na piscicultura / Isaias Abner Lima Saraiva . 2024
78 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Vicente Ferreira de Lucena Junior
Coorientador: Thiago Marinho Pereira
Dissertação (Mestrado em Informática) - Universidade Federal do Amazonas.

1. Piscicultura. 2. Manejo alimentar. 3. Parâmetros físico-químicos da água. 4. Internet das coisas. 5. Aprendizagem de máquina. I. Lucena Junior, Vicente Ferreira de. II. Universidade Federal do Amazonas III. Título



Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Informática

FOLHA DE APROVAÇÃO

"AQUAFEED: UM SISTEMA DE MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS E RECOMENDAÇÃO PARA AUXÍLIO DO MANEJO ALIMENTAR NA PISCICULTURA"

ISAIAS ABNER LIMA SARAIVA

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada pela banca examinadora constituída pelos Professores:

Prof. Dr. Vicente Ferreira de Lucena Junior - PRESIDENTE

Dr. Walter Charles Sousa Seiffert Simões - MEMBRO EXTERNO

Dr. Vandermi João da Silva - MEMBRO EXTERNO

Manaus, 19 de fevereiro de 2024.



Documento assinado eletronicamente por **Vicente Ferreira de Lucena Júnior, Professor do Magistério Superior**, em 11/03/2024, às 09:40, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Walter Charles Sousa Seiffert Simões, Usuário Externo**, em 11/03/2024, às 10:47, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por **Vandermi João da Silva, Professor do Magistério Superior**, em 11/03/2024, às 16:24, conforme



horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **1940831** e o código CRC **CB564D13**.

Avenida General Rodrigo Octávio, 6200 - Bairro Coroado I Campus Universitário
Senador Arthur Virgílio Filho, Setor Norte - Telefone: (92) 3305-1181 / Ramal 1193
CEP 69080-900, Manaus/AM, coordenadorppgi@icomp.ufam.edu.br

Referência: Processo nº 23105.006783/2024-48

SEI nº 1940831

Agradecimentos

Inicialmente agradeço a Deus por ter me dado forças e guiado durante esta pesquisa. Agradeço também aos meus pais, Maria e Antonio, minhas irmãs, Isis, Sheila e Keila, pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Agradeço à minha esposa, Daniele, pelo empenho e dedicação em cuidar do nosso filho e me apoiar mesmo quando estive ausente.

Ao meu orientador, Professor Vicente por ter aceitado mim orientar, pelas conversas, conselhos e sempre acreditar nesta pesquisa.

Ao meu co-orientador professor Thiago por ter aceitado mim co-orientar na área de piscicultura, ter disponibilizado tempo mesmo morando em outro estado.

Agradeço aos meus amigos Davi e Gabriel, que se disponibilizaram para ajudar e apoiar em todos os momentos que precisei. Agradeço também aos meus amigos de turma do ICOMP, Alcemir, Marlon, Marcela e Jacó Miranda que sempre estiveram presentes nos momentos que mais precisei, em especial ao meu amigo Cezar, que mesmo quando estava no Ceará e na França disponibilizou tempo para me ajudar com dúvidas.

Agradeço ao piscicultor que permitiu que eu realizasse testes em sua propriedade. Aos professores e colaboradores do ICOMP, em especial ao Professor Reginaldo, que sempre me auxiliou para o bom andamento deste trabalho, agradeço pelas conversas e conselhos.

Por fim aos meus colegas de trabalho Carlos Pereira, Fagnaldo Pontes, Alexandre, Leonardo, David, Marcelo por terem apoiado durante este trabalho e ao diretor do instituto SENAI de Inovação Elvio Dutra por ter apoiado em todos os eventos acadêmicos, ter disponibilizados os laboratórios e instrumentos comerciais para os resultados desta pesquisa.

Resumo

A piscicultura é uma atividade de fonte de renda para muitos agricultores, os quais ainda carecem de tecnologias para auxiliar no manejo diário dos viveiros, principalmente no que diz respeito ao monitoramento da qualidade da água. Este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água (temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica) e auxílio no manejo alimentar em operações de piscicultura da espécie tambaqui. O sistema utiliza algoritmos de aprendizado de máquina, aplicando técnica de regressão para gerar recomendações de alimentação diária. O sistema foi desenvolvido com um hardware para a coleta e monitoramento dos parâmetros e um software para visualização dos dados e geração das recomendações. A avaliação do sistema foi realizada em duas etapas. Testes em laboratório, avaliou-se o comportamento dos sensores e a precisão das medidas. Os resultados indicaram que os sensores acompanham as mudanças bruscas. Testes em campo, comparou-se o desempenho do sistema com sensores comerciais. Para alcançar o resultados, foi aplicado o teste estatístico do F tabelado. Os resultados demonstraram que o sistema apresentou resultados estatisticamente próximos aos sensores comerciais, com os valores de F calculado, $F_{\text{pH}} = 1,87$, $F_{\text{Temperatura}} = 1,68$, $F_{\text{Condutividade elétrica}} = 7,84$.

Palavras-chave: piscicultura, manejo alimentar, parâmetros físico-químicos da água, internet das coisas, aprendizagem de máquina, sistemas de recomendação.

Abstract

Fish farming is a source of income for many farmers, who still lack technologies to help with the daily management of ponds, especially with regard to monitoring water quality. This work proposes the development of a system to monitor the physical and chemical parameters of water (temperature, pH, dissolved oxygen and electrical conductivity) and to help with food management in tambaqui fish farming operations. The system uses machine learning algorithms, applying regression techniques to generate daily feeding recommendations. The system was developed with hardware to collect and monitor the parameters and software to visualize the data and generate recommendations. The system was evaluated in two stages. Laboratory tests evaluated the behavior of the sensors and the accuracy of the measurements. The results indicated that the sensors keep up with sudden changes. Field tests compared the system's performance with commercial sensors. To obtain the results, the F-tab test was applied. The results showed that the system presented results that were statistically close to the commercial sensors, with calculated F values, $F_{pH} = 1.87$, $F_{Temperature} = 1.68$, $F_{Electrical\ conductivity} = 7.84$.

Keywords: fish farming, food management, physico-chemical water parameters, internet of things, machine learning, recommendation systems

Lista de Figuras

2.1	Açude em que a vegetação não foi retirada, impossibilitando despescas parciais e viveiro corretamente construído, com imagem de despescas parciais.	7
2.2	Viveiros revestidos com manta plástica e protegidos por cobertura plástica e tela sombrite para o cultivo de peixes ornamentais.	7
2.3	Produção de peixes em canais de irrigação e em canais de igarapé.	8
2.4	Equipamentos utilizados em pisciculturas para mensuração de parâmetros de qualidade da água.	12
2.5	Blocos básicos da IoT	15
2.6	Visão geral de uma nuvem computacional.	16
2.7	Biblioteca para uso em algoritmos de aprendizado de máquina	17
2.8	Exemplo de classificação usando 1-NN.	18
2.9	Representação do plano de separação usando SVM.	19
2.10	Plano de separação considerando um terceiro parâmetro no conjunto de dados, e plano de separação não linear,	19
2.11	Exemplo de regressão. Pontos representam dados de treinamento com ruído. . .	20
5.1	Arquitetura geral proposta para monitoramento dos parâmetros e auxílio no manejo alimentar.	32
5.2	Diagrama de modelagem do banco de dados da ferramenta	39
5.3	Banco de dados definido para armazenamento dos dados mensurados pelos sensores. .	41
5.4	Fluxograma do algoritmo do <i>hardware</i> de aquisição e processamento de sinais. .	41
5.5	Fluxograma do algoritmo do <i>gateway</i>	42
5.6	Fluxograma dos algoritmos de aprendizado de máquina.	46
5.7	Diagrama de funcionamento das previsões e cálculos para recomendação da quantidade de ração diária para espécie Tambaqui	47
6.1	Protótipo para monitoramento e gravação de dados.	51
6.2	Microcontrolador <i>ESP32</i>	51
6.3	Microcontrolador <i>Arduino Uno</i>	52
6.4	Módulo leitor cartão de memória	52
6.5	Sensor de oxigênio dissolvido <i>Atlas Scientific</i>	52
6.6	Sensor de pH 4502c	53
6.7	Sensor de temperatura <i>DS18B20</i>	53
6.8	Sensor de condutividade elétrica	54
6.9	<i>Dashboard</i> para visualização dos dados de temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido.	54
6.10	Monitor serial da IDE do <i>Ardino</i>	55

6.11	Arquivo data.txt	55
6.12	<i>Setup</i> e posicionamento dos sensores na camara climática	56
6.13	Resultados teste no sensor de temperatura	56
6.14	Calibração Sensor TDS	57
6.15	Calibração do sensor de oxigênio dissolvido	58
6.16	Resultado de calibração do sensor de exigênio dissolvido	58
6.17	Calibração do sensor de pH	59
6.18	Resultado do ensaio de titulação química do sensor de pH	60
6.19	Modelos de aprendizado de máquina CN2, <i>tree</i> , <i>naive bayes</i> , KNN, e SVM.	61
6.20	Matriz de confusão algoritmo <i>naive bayes</i>	62
6.21	Matriz de confusão algoritmo árvore de decisão.	63
6.22	Árvore de Decisão do Modelo.	63
6.23	Gráfico com resultados das previsões do algoritmo <i>naive bayes</i>	64
6.24	Gráfico com resultados das previsões do algoritmo árvore de decisão.	64
6.25	Software AquaFeed: tela inicial do Software recomendação de alimentação.	66
6.26	Software AquaFeed: tela de escolha de espécie.	67
6.27	Software AquaFeed: página de definição de parâmetros.	68
6.28	Software AquaFeed: página recomendação de alimentação	68
6.29	Software AquaFeed: Monitoramento dos parâmetros da espécie tambaqui.	69
6.30	Instrumentos Multi-parâmetros.	70
6.31	Viveiro de tambaqui	70
6.32	Viveiro de tambaqui	71
6.33	Resultados das avaliações em Campo	71

Lista de Tabelas

2.1	Quadro comparativo de pontos fortes e fracos quanto à classificação da piscicultura.	9
2.2	Indicadores de qualidade da água e impactos.	9
2.3	Faixa de temperatura.	11
2.4	Especificação de medidor multiparâmetro Acqua Nativa.	14
2.5	Especificação de medidor multiparâmetro Hanna Eletronics.	14
3.1	Tabela de trabalhos correlatos	27
5.1	Definição de requisitos do <i>hardware</i> de aquisição e processamento de sinais.	34
5.2	Estudo comparativo <i>hardwares</i> de aquisição e processamento de sinais.	35
5.3	Especificação de requisitos de <i>hardwares</i> de <i>Gateways</i> .	36
5.4	Estudo comparativo de <i>Gateway</i> .	37
5.5	Manejo alimentar sugerido para criação do tambaqui	45
6.1	Percentual de alimentação.	60
6.2	Avaliação de acurácia dos modelos de aprendizado de máquina	61
6.3	Avaliação de acurácia com validação cruzada dos modelos treinados.	62
6.4	Métricas para previsão da taxa de alimentação em relação ao peso do tambaqui	65
6.5	Métricas para previsão da taxa de alimentação em relação a temperatura da água	66

Sumário

1	Introdução	2
1.1	Contextualização	2
1.2	Definição do Problema	4
1.3	Motivação e Justificativa	4
1.4	Objetivo	5
1.5	Organização da Dissertação	5
2	Fundamentação Teórica	6
2.1	Piscicultura	6
2.2	Importância na Qualidade da Água para a Piscicultura	9
2.2.1	Turbidez e Transparência	10
2.2.2	Amônia Total	10
2.2.3	Dureza e Alcalinidade	10
2.2.4	Temperatura	10
2.2.5	pH	11
2.2.6	Oxigênio Dissolvido	12
2.3	Sistemas Computacionais para Monitoramento da Qualidade da Água na Piscicultura	13
2.4	Internet das Coisas Aplicada para Coleta de Dados	15
2.5	Computação na Nuvem	16
2.6	Aprendizado de Máquina	17
2.6.1	Aprendizado Supervisionado	17
2.6.2	Aprendizado não Supervisionado	20
2.6.3	Aprendizado por reforço	21
2.7	Considerações sobre o Capítulo	21
3	Trabalhos Relacionados	22
3.1	Revisão da Literatura	22
3.1.1	Estudo da Viabilidade no Desenvolvimento de um Sistema Computacional de baixo custo para Monitoramento da Qualidade da Água em cultivos e organismos aquáticos	22
3.1.2	<i>Cost Efficient Automated Pisciculture Assistance System using Internet of things(IoT)</i>	23
3.1.3	<i>Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment</i>	24
3.1.4	<i>Machine learning for manually-measured water quality prediction in fish farming</i>	24

3.1.5	<i>Water quality assurance in aquaculture ponds using Machine Learning and IoT techniques</i>	25
3.1.6	<i>A Computer Vision-Based Intelligent Fish Feeding System Using Deep Learning Techniques for Aquaculture</i>	25
3.2	Discussão	26
4	Metodologia	28
4.1	Métodologia	28
4.2	Considerações sobre o Capítulo	31
5	Solução proposta	32
5.1	Solução Geral Proposta	32
5.1.1	Especificação do <i>Hardware</i> de Aquisição e Processamento de Sinais da Solução Proposta	33
5.1.2	Especificação de <i>Hardware</i> de <i>Gateway</i> da Solução Proposta	35
5.1.3	Especificação de Requisitos do <i>Software</i>	37
5.1.4	Modelagem do Banco de Dados da Solução Proposta	39
5.1.5	Especificação do Banco de Dados	40
5.1.6	Solução Proposta do <i>Hardware</i> de Aquisição e Processamento de Sinais	41
5.1.7	Solução Proposta do <i>Gateway</i>	42
5.1.8	Solução Proposta de <i>Software</i> para Auxílio no Manejo Alimentar	43
5.1.9	Algoritmos de Aprendizado de Máquina	45
5.1.10	Solução Proposta para Cálculo de Recomendação de Alimentação.	47
5.2	Considerações sobre o Capítulo	49
6	Resultados Obtidos	50
6.1	Desenvolvimento da Aplicação para Monitoramento	50
6.1.1	Protótipo para Monitoramento e Gravação dos Dados	50
6.1.2	Dashboard do Banco de Dados na Nuvem	54
6.2	Calibração e Testes dos Sensores em Laboratório	55
6.2.1	Teste Sensor de Temperatura	55
6.2.2	Calibração e Testes do Sensor de Condutividade Elétrica	57
6.2.3	Calibração e Testes do Sensor de Oxigênio Dissolvido	57
6.2.4	Calibração e Testes do Sensor de pH	59
6.3	Aprendizado de Máquina para Classificação da Porcentagem de Alimentação da Espécie Tilápia	60
6.3.1	Avaliação de Acurácia dos Algoritmos de classificação	61
6.3.2	Matriz de Confusão Algoritmos	62
6.3.3	Previsões dos Algoritmos	63
6.4	Algoritmos de Regressão para Recomendação de Alimentação da Espécie Tambaqui	65
6.4.1	Avaliação Algoritmos de aprendizado de recomendação da Quantidade de Ração	65
6.5	Software AquaFeed - Sistema de Monitoramento e Recomendação de Alimentação Piscicultura	66
6.6	Testes em Campo	69
7	Considerações Finais e Trabalhos Futuros	73
	Referências Bibliográficas	75

Capítulo 1

Introdução

Este capítulo apresenta a parte introdutória desta dissertação. Serão abordados todos os conceitos utilizados para a definição do problema e desenvolvimento da solução proposta. Inicialmente, apresenta-se a contextualização do trabalho, em seguida, a definição do problema, seguido da justificativa e da motivação. Por fim, serão apresentados os objetivos e a organização da dissertação.

1.1 Contextualização

Nosso planeta é inundado de água, formando a hidrosfera que contém os oceanos, mares e águas continentais. Conforme afirmam [dos Reis et al. \[2021\]](#), a água está presente em todos os organismos vivos, sendo essencial para a existência do planeta e vital para todas as formas de vida, incluindo os seres humanos.

Além da importância biológica, o meio aquático também serve como plano de fundo para um dos ramos do agronegócio que mais crescem, em termos mundiais: a aquicultura. A aquicultura pode ser descrita como uma atividade que envolve o manejo de todos os organismos aquáticos, seja para fins econômicos, ornamentais ou até mesmo para práticas recreacionais e de simples lazer humano. E, fazendo parte da aquicultura, tem-se a criação de peixes, também conhecida como piscicultura, com os mesmos fins e objetivos principais que cercam a prática da aquicultura.

A aquicultura e a pesca são uma das atividades essenciais para o desenvolvimento econômico mundial. Conforme a [Food and Agriculture Organization of the United Nations \[2023\]](#), são setores essenciais para a segurança alimentar, fornecendo a milhões de pessoas alimentos, nutrição, rendimento e emprego. Em 2020, a produção da pesca e da aquicultura atingiu um recorde de 214 milhões de toneladas, incluindo 36 milhões de toneladas de algas e 178 milhões de toneladas de animais aquáticos. A Ásia foi responsável por quase 70% da produção mundial de animais aquáticos, seguida pelas Américas 12%, Europa 10%, África 7% e Oceânia 1%. Em termos globais, a pesca de captura, com 90,3 milhões de toneladas, representou 51% da produção total de animais aquáticos, enquanto a aquicultura, com 87,5 milhões de toneladas, foi responsável por 49%. No entanto, a porcentagem da aquicultura na produção total difere consoante os continentes, passando de mais de 62% na Ásia para 20% nas Américas, 19% na Europa e 19% na América Latina.

No Brasil, estima-se que aproximadamente 3,5 milhões de pessoas estejam direta ou indiretamente envolvidas na pesca e na aquicultura. Segundo a [Food and of the United Nations \[2020\]](#), a produção pesqueira brasileira em 2019 foi de 710.333 toneladas. O consumo anual

per capita de pescado tem aumentado substancialmente nos últimos anos, impulsionado por campanhas de promoção massivas. De acordo com a [Peixe BR \[2022\]](#), em 2020, a produção brasileira de peixes de cultivo atingiu 802.930 toneladas. Em 2021, a produção aumentou para 841.005 toneladas, e em 2022, atingiu 860.355 toneladas.

O Brasil é hoje o quarto maior produtor mundial de tilápia (*Oreochromis niloticus*). Segundo [Peixe BR \[2022\]](#), é a espécie mais cultivada no Brasil. Em 2022, foram produzidas em todo o País 550.060 toneladas, volume que representa 63,93% da produção nacional de peixes de cultivo e aumento de 3% sobre as 534.005 toneladas de 2021.

Na piscicultura, a qualidade da água é um fator determinante para o sucesso da produção. Condições inadequadas de qualidade da água podem resultar em prejuízos ao crescimento, à reprodução, à saúde, à sobrevivência e à qualidade dos peixes, como afirmado por [Leira et al. \[2017\]](#). Para manter a qualidade da água, é essencial realizar o monitoramento dos parâmetros físico-químicos que a influenciam, como temperatura, oxigênio dissolvido, transparência, pH e amônia.

Atualmente, o monitoramento dos parâmetros pode ser realizado de duas maneiras. Através de tecnologias comerciais, como equipamentos multiparâmetros, que possuem um custo elevado e por kits colorimétricos, porém essa abordagem não fornece a mesma precisão que um instrumento multiparâmetro. No entanto, conforme [Junior et al. \[2019\]](#) afirma, os processos de automação devem avançar pela agropecuária como forma de assegurar o aumento de produção e produtividade no Brasil e também como objetivo de manter e estimular o crescimento das indústrias de máquinas e equipamentos agropecuários. Para [Alves and da Silveira Junior \[2012\]](#), uma das tecnologias que podem ser aplicadas nas operações de piscicultura, são sistemas de telemetria para monitoramento da qualidade da água.

Dentre os parâmetros monitorados, a temperatura da água é um fator importante no cultivo de peixes, pois influencia diretamente a ingestão de alimentos. De acordo com [Honorato \[2019\]](#), a temperatura da água pode auxiliar no manejo alimentar, indicando a quantidade de alimento a ser fornecido, o horário de arração, a frequência e o ritmo de alimentação, nos diferentes sistemas de criação.

A alimentação é um fator crucial na piscicultura, pois além de ser determinante para o resultado do cultivo, o fornecimento de ração tem um grande impacto financeiro, já que o alimento geralmente representa de 60% a 70% do custo total na produção de peixes [SENAR \[2019\]](#). Conforme [Ribeiro et al. \[2012\]](#) menciona, as exigências de nutrientes, como a proteína, são maiores para os peixes em comparação com outras espécies animais. Portanto, é necessário fornecer ração com altos teores proteicos, o que torna a atividade ainda mais cara. Assim, a utilização de alimentos adequados, em quantidade e qualidade, é fundamental para o sucesso da piscicultura.

Para o piscicultor, uma maneira de realizar a alimentação em suas operações, são os sistemas de alimentação inteligentes, conforme mencionado por [TAVARES \[2021\]](#). A máquina de alimentação automática tradicional possui um programa predefinido, fornecendo uma quantidade fixa de alimentação, apenas substituindo o método manual. No entanto, com o avanço da inteligência artificial, é possível implementar máquinas que calculam a quantidade de alimento a ser adicionado usando tecnologias de monitoramento computacional e sensorial. Porém, ainda que os métodos inteligentes ainda não tenham sido amplamente aplicados nas operações de piscicultura, a implementação destas tecnologias é a tendência de desenvolvimento nos próximos anos. Estes sistemas podem monitorar o processo de alimentação em tempo real, determinando as demandas de alimentação dos peixes cultivados. Existem alguns sistemas comerciais que possuem essas funcionalidades, como o sistema *Akvasmart*, que tem mecanismos de *feedback* que detectam o comportamento alimentar dos peixes até a alimentação ser concluída, o que permite que o peixe seja alimentado de forma correta evitando desperdícios..

Neste contexto, este trabalho propõe o desenvolvimento de um sistema para monitoramento dos principais parâmetros físico-químicos e auxílio no manejo alimentar em operações de piscicultura. O desenvolvimento de um sistema autônomo para acompanhamento de ambos os fatores produtivos facilitará a operação de qualquer empreendimento piscícola, melhorando o gerenciamento das práticas alimentares e diminuindo os riscos inerentes às alterações bruscas nas condições hídricas de criação dos peixes.

1.2 Definição do Problema

De acordo com *Rohit et al. [2019]*, existem diversos problemas relacionados com a qualidade da água na piscicultura. Manter um equilíbrio adequado entre nutrientes e outros fatores é essencial para garantir as condições ideais para a saúde dos peixes. Esses fatores abrangem parâmetros como temperatura, pH, turbidez, transparência, dureza e equilíbrio entre oxigênio e dióxido de carbono. Além disso, *Winter and Mota [2021]* ressaltam que um dos maiores problemas enfrentados na atividade de piscicultura em tanques-rede é o controle da alimentação e monitoramento da qualidade da água. Embora a piscicultura esteja em crescimento, a maioria dos piscicultores ainda realizam medições desses parâmetros de forma manual, utilizando kits colorimétricos acessíveis. No entanto, isso muitas vezes resulta em imprecisão e dificuldade de interpretação dos resultados. Por outro lado, instrumentos de medição para parâmetros como pH, oxigênio dissolvido, temperatura, entre outros, têm um custo elevado, o que frequentemente dificulta a aquisição por parte dos piscicultores.

Ainda, a qualidade da água também pode ser impactada negativamente se não houver um correto gerenciamento no fornecimento da ração aos peixes, também conhecido como arraçoamento. Esse arraçoamento deve ser acompanhado por meio da percepção do produtor (uma vez que o não consumo de ração é um dos primeiros indícios atrelados à sanidade dos peixes) e correlacionado com alguns fatores físicos químicos, em especial a temperatura. Peixes são animais pecilotérmicos, ou seja, não regulam a própria temperatura corporal, fazendo com que seu metabolismo acelere ou desacelere conforme haja uma oscilação térmica do corpo hídrico destinado à criação.

Como fornecer aos piscicultores ferramentas e tecnologias de monitoramento da qualidade da água e auxílio no manejo alimentar para empreendimentos piscícolas? Essa é a pergunta que esse trabalho pretende resolver e responder, auxiliando no processo de tomada de decisão do produtor de peixes.

1.3 Motivação e Justificativa

Atualmente, mais de um bilhão de pessoas têm o peixe como fonte de sua proteína animal diária, e a aquicultura tem sido apontada como a próxima fronteira mundial na produção de alimentos. Segundo *Officer [2016]*, a produção mundial de pescado atingiu a marca de 167 milhões de toneladas, com 73,8 milhões de toneladas provenientes da aquicultura. No entanto, sua produção não está conseguindo atender à demanda, especialmente em países criticamente pobres, onde são mais necessários.

No Brasil, a produção de peixes desde 2004 até os dias atuais tem apresentado um crescimento anual de 14,2%, com produção de 561 mil toneladas em 2014, ocupando a 13.^a posição no ranking geral dos maiores produtores de pescado, mas continua longe de atingir seu potencial. Segundo *[Officer, 2016]*, para o ano de 2050, estima-se que a população mundial seja de 9 bilhões de pessoas, e o crescimento na produção de peixes é primordial para superar o déficit alimentar que se vislumbra. Assim, mesmo com essa sinalização positiva, existem desafios para desenvolver a

cadeia produtiva toda, para sustentar o crescimento. No Brasil, na grande maioria dos casos, seja em ambientes abertos (criação em gaiolas e viveiros escavados), seja em ambientes fechados (criação em sistema de recirculação) não existe uma variedade muito grande em produtos e serviços que foquem na racionalização dos processos produtivos de peixe em cativeiro. As ferramentas autônomas são poucas e as disponíveis, sempre possuem um valor muito alto para aquisição. Isso acaba por desestimular a compra dessas ferramentas tecnológicas, por parte dos produtores, contribuindo para a permanência de um quadro nacional da piscicultura que remete a práticas medievais.

Diante desses desafios, a motivação deste trabalho é desenvolver um sistema para monitorar os parâmetros físico-químicos da qualidade da água e auxiliar o manejo alimentar em operações de piscicultura da espécie tambaqui. A implementação desse sistema visa otimizar o manejo da piscicultura, proporcionando benefícios significativos para o cultivo de peixes. Assim, a integração de tecnologias inovadoras para auxílio no manejo em operações de piscicultura é uma abordagem promissora para enfrentar os desafios do setor.

1.4 Objetivo

Este trabalho tem como objetivo geral desenvolver um sistema para monitoramento dos parâmetros físico-químicos e auxílio no manejo alimentar em operações de piscicultura, gerando a recomendação da quantidade diária de ração da espécie tambaqui, com base em informações como peso, quantidade de peixes, e temperatura da água.

- Explorar o estado da arte das tecnologias para monitoramento da água na piscicultura.
- Desenvolver um protótipo para mensuração dos parâmetros físico-químicos dentre eles oxigênio dissolvido, temperatura, pH, e condutividade elétrica com comunicação IoT e software para visualização dos parâmetros e recomendação da alimentação da espécie tambaqui.
- Treinar e experimentar modelos de aprendizado de máquina para previsão da alimentação em operações de piscicultura.
- Testar e avaliar o sistema de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e recomendação para auxílio do manejo alimentar na Piscicultura

1.5 Organização da Dissertação

A dissertação está estruturada em sete capítulos divididos da seguinte maneira, o capítulo 2 oferece uma revisão bibliográfica abordando conceitos e definições relacionados aos parâmetros físico-químicos da água na piscicultura, bem como a importância do manejo alimentar e qualidade da água. Além disso, serão exploradas as tecnologias mais recentes de sensores aplicados na medição dos parâmetros. Também serão abordadas as tecnologias utilizadas em sistemas de telemetria, como internet das coisas, computação em nuvem e algoritmos de aprendizado de máquina. O capítulo 3 apresentará os trabalhos correlatos, estabelecendo conexões e explorando estudos relacionados ao tema abordado na dissertação.

O capítulo 4 descreverá a metodologia adotada para o desenvolvimento da solução proposta. No capítulo 5, será apresentada a solução proposta. O capítulo 6 discutirá os resultados obtidos ao longo do trabalho, fornecendo análises. Por fim, no capítulo 7, serão apresentadas as considerações finais, bem como as perspectivas e direcionamentos futuros do trabalho desenvolvido até o momento.

Capítulo 2

Fundamentação Teórica

Neste capítulo, são apresentados os conceitos fundamentais relacionados à piscicultura e suas tecnologias. Abordam-se as definições dos principais parâmetros físico-químicos, como temperatura, pH, oxigênio dissolvido e turbidez, ressaltando a importância da qualidade da água para a atividade. Além disso, discutem-se as metodologias de análise desses parâmetros, destacando a relevância desse processo na piscicultura. Também será realizado um estudo na literatura visando identificar as tecnologias mais recentes para o monitoramento dos parâmetros utilizados na piscicultura, englobando sistemas computacionais, Internet das Coisas, computação em nuvem e aprendizado de máquina.

2.1 Piscicultura

A piscicultura é definida como uma modalidade da aquicultura que se refere ao cultivo de peixes. Esta atividade não apenas fornece fontes de alimentos, mas também gera empregos, impulsiona o comércio e contribui para o crescimento econômico de regiões e países ao redor do mundo. Quando realizada de forma correta, contribui de maneira eficiente para a preservação da natureza. Para isso, é necessário aplicar as técnicas adequadas de manejo. A fim de alcançar um cultivo ideal, o piscicultor deve garantir a qualidade da água ([Garutti \[2003\]](#)).

Os sistemas de aquicultura envolvendo a piscicultura mais antiga do mundo, conforme mencionado por [Edwards and Demaine \[1998\]](#) pode ser o sistema egípcio de lagoas de água salobra, com uma história de dois a três milênios. A cultura de peixes leiteiros em água salobra em lagoas, que tem séculos de existência na Indonésia, nas Filipinas e em Taiwan, teria se originado em Java, há 600-800 anos, mas também há evidências de uma antiga cultura de peixes pelos polinésios em lagoas costeiras.

No Brasil, a aquicultura, de maneira geral, existe desde o início do século XX. Durante a década de 1990, a produção total da aquicultura aumentou de aproximadamente 30.000 toneladas no início da década para 176.531 toneladas em 2000 e 246.183 toneladas em 2002. Predominantemente baseada em pequena escala unidades agrícolas, em 1998 estimou-se que aproximadamente 100 000 explorações ocupavam uma área de 80 000 hectares ([Suplicy \[2023\]](#)).

De acordo com dados do [Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística \(IBGE\) \[2023\]](#), as principais espécies de peixes criadas no Brasil em 2022 foram, tilápia (*Oreochromis niloticus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), tambacu (*Colossoma macropomum*) e tambatinga (*Piaractus mesopotamicus*). A tilápia se destaca como a espécie mais cultivada na piscicultura

brasileira, com uma produção de 550.060 toneladas em 2022. Esse valor representa 63,93% da produção nacional de peixes de cultivo (Peixe BR [2022]).

A piscicultura é muito importante para o abastecimento da população. Os peixes são animais saudáveis para consumir, além disso, são alimentos que afetam pouco o meio ambiente. Esta atividade vem se destacando nos últimos anos como uma atividade de rápido crescimento na produção de alimentos saudáveis, apresentando contribuição relevante para geração de emprego e renda, bem como para redução da pobreza e da fome em várias partes do mundo. Os impactos econômicos e sociais gerados por esta atividade foram abrangentes (Siqueira [2018]).

Dentre os principais tipos de cultivo de peixes, destacam-se:

- **Barragens:** As barragens são praticamente as bacias que fazem a captação de água. A figura 2.1 apresenta esse tipo de cultivo.

Figura 2.1: Açude em que a vegetação não foi retirada, impossibilitando despescas parciais e viveiro corretamente construído, com imagem de despescas parcial.



Fonte: RODRIGUES et al. [2013]

- **Tanques:** Nesse tipo de cultivo, os peixes são criados em tanques, que podem ser construídos ou escavados no solo. Os tanques representam reservatórios de água destinados ao cultivo dos peixes, assemelhando-se bastante aos viveiros. No entanto, a distinção está no fato de que os tanques devem dispor de bordas de concreto, proporcionando uma estrutura mais sólida e durável.
- **Viveiros:** O cultivo de peixes em viveiros é realizado em reservatórios de água escavados, com uma profundidade de aproximadamente 1,5 metros. A figura 2.2 ilustra um exemplo de cultivo em viveiro.

Figura 2.2: Viveiros revestidos com manta plástica e protegidos por cobertura plástica e tela sombrite para o cultivo de peixes ornamentais.



Fonte: RODRIGUES et al. [2013]

- **Gaiolas:** Este método de criação de peixes utiliza estruturas de gaiolas que ficam flutuando na água. As gaiolas são suspensas em tanques ou corpos d'água maiores, como lagos ou rios, proporcionando um ambiente controlado para o desenvolvimento dos peixes.

Conforme [RODRIGUES et al. \[2013\]](#), a classificação da piscicultura quanto à intensificação da produção é a mais empregada pelos piscicultores. São considerados parâmetros indicativos nessa classificação a densidade de estocagem, a dependência de ração pelos peixes, a utilização de alimento natural, o nível de manejo aplicado, os custos de produção e a suscetibilidade a doenças. Esses sistemas podem ser categorizados em três:

- **Sistema extensivo:** A piscicultura extensiva se assemelha muito ao ambiente natural desses animais, onde a criação de peixes é realizada em lagos. Neste sistema, os custos são baixos. Nas palavras de [Lopes \[2018\]](#), as principais características desse sistema são que não é necessário o fornecimento de ração aos peixes, a utilização, na maioria das vezes, da técnica de policultivo, permitindo que várias espécies sejam cultivadas ao mesmo tempo, e a falta de manejo adequado. No entanto, este modelo possui uma vantagem, que não exige um alto investimento, porém existem também as desvantagens, como a baixa produtividade na criação dos peixes e também a taxa de crescimento é lenta.
- **Sistema semi-intensivo:** A piscicultura semi-intensiva é aquela que requer a implementação de suplementos na criação dos peixes. Segundo [Lopes \[2018\]](#), esses sistemas também podem ser construídos em lagos e represas, porém, apresentam algumas características diferentes do sistema extensivo. Nesse modelo, já é necessário o fornecimento de alimento aos peixes. Uma das vantagens em relação ao sistema extensivo é que neste modelo há maior produtividade, se comparada ao sistema extensivo, e também utiliza o policultivo.
- **Sistema Intensivo:** Para o sistema intensivo, é necessário um maior nível técnico, sendo que apenas um tipo ou espécie de peixe é criado em cada tanque. Conforme [Lopes \[2018\]](#), este sistema tem como principal objetivo obter alta produtividade por metro quadrado. Esse modelo de sistema apresenta características como a alimentação dos peixes com ração balanceada e adequada para cada espécie e conforme a fase de cultivo, manejo criterioso e utilização de espécies adaptadas à criação em alta estocagem. A figura 2.3 apresenta um sistema intensivo.

Figura 2.3: Produção de peixes em canais de irrigação e em canais de igarapé.



Fonte: [RODRIGUES et al. \[2013\]](#)

A tabela 2.1 apresenta um quadro comparativo entre os sistemas extensivos, semi-intensivos e intensivos.

Tabela 2.1: Quadro comparativo de pontos fortes e fracos quanto à classificação da piscicultura.

[HTML]EFEFEF Classificação	Ponto forte	Ponto fraco
[HTML]FFFFFF Extensivo	Produção com custo mínimo.	Baixa Produtividade (150 a 500 kg/ha/ano)
[HTML]FFFFFF Semi-intensivo	Aproveitamento do alimento natural e produtividade moderada (2.500 a 12.500 kg/ha/ano)	Custo de Produção Moderado
[HTML]FFFFFF Intensivo	Alta produtividade (150kg/m3/ciclo)	Dependência completa de ração e custo de produção elevado

Fonte: RODRIGUES et al. [2013]

2.2 Importância na Qualidade da Água para a Piscicultura

Na piscicultura, a qualidade da água desempenha um papel fundamental para o sucesso da atividade. De acordo com Leira et al. [2017], a qualidade da água é um elemento essencial que pode definir a diferença entre lucro e prejuízo na piscicultura. Para saber se a água está na condição ideal para o cultivo, é necessário realizar um monitoramento contínuo, principalmente nos principais parâmetros físico-químicos, dentre eles: temperatura, pH e oxigênio dissolvido.

Conforme de Souza and Soares [2020], a água em más condições resulta em diversos prejuízos, que incluem prejuízos no crescimento e na saúde dos peixes, podendo até mesmo levar à morte. A tabela 2.2 apresenta um indicador da qualidade da água com os impactos que podem causar.

Tabela 2.2: Indicadores de qualidade da água e impactos.

[HTML]EFEFEF Indicador	Impactos
[HTML]FFFFFF pH	Morte, e baixa produtividade
[HTML]FFFFFF Temperatura	Morte, ou perda de peso
[HTML]FFFFFF Turbidez	Dificuldade de alimentação, e Morte
[HTML]FFFFFF [HTML]FFFFFF Oxigênio Dissolvido	Morte
[HTML]FFFFFF [HTML]FFFFFF Condutividade Elétrica	Morte
Transparência	Saúde da vida aquática

Fonte: dos Santos et al. [2020]

Para garantir a qualidade da água nos viveiros, o piscicultor deve realizar um monitoramento periódico dos parâmetros físicos e químicos, mantendo-os em níveis adequados. Esse monitoramento contínuo é essencial para proporcionar um ambiente propício ao crescimento saudável dos peixes. Conforme Duarte et al. [2014] ressaltam, o sucesso na atividade de piscicultura depende da eficácia de diversos parâmetros e a manipulação desses parâmetros visa maximizar a produtividade e a qualidade do pescado. O monitoramento é fundamental para todas as espécies cultivadas, incluindo as consideradas mais rústicas, como a tilápia. O equilíbrio dinâmico entre esses fatores é responsável pelo sucesso do cultivo.

Neste trabalho, será abordado o monitoramento dos principais parâmetros físico-químicos responsáveis por manter a eficácia na atividade da piscicultura. Dentre eles, podem ser destacados: turbidez e transparência, amônia total, dureza e alcalinidade, temperatura, pH e oxigênio dissolvido.

2.2.1 Turbidez e Transparência

Segundo [Bresciani \[2015\]](#), o índice de turbidez, ou grau de transparência da água, corresponde à distância de visibilidade na água, ou seja, a profundidade até onde se pode enxergar a partir da superfície. Situações em que há alta concentração de algas ou um grande volume de água externa entrando no reservatório podem diminuir o grau de transparência no local de produção, prejudicando assim o desenvolvimento dos peixes.

Para a atividade de piscicultura, a transparência entre 30 e 60 cm de profundidade é geralmente a mais adequada. Quando a transparência é maior que 60 cm, aumenta a possibilidade de crescimento de plantas aquáticas; e quando a transparência é menor que 30 cm, ocorrem problemas de oxigênio dissolvido e variações de pH. Ambos os problemas devem ser evitados na criação de peixes. [Bartz et al. \[2021\]](#) afirmam que esse parâmetro é uma medida importante, pois pode indicar sinais que incluem a erosão do solo, escoamento de água, descargas, sedimentos de fundo agitados ou proliferação de algas.

2.2.2 Amônia Total

Conforme aponta [Lima et al. \[2013\]](#), a amônia é a principal forma de excreção dos peixes. A amônia total é um parâmetro de extrema importância a ser monitorado na piscicultura. Ela é gerada nos tanques devido ao excesso de alimento que os peixes não consomem. Quando os níveis de amônia ultrapassam os limites aceitáveis, isso pode comprometer a qualidade dos peixes, resultando em problemas como falha renal, disfunção das brânquias, entre outros. À medida que a concentração de amônia na água aumenta, a capacidade dos peixes em excretar a amônia através das brânquias é reduzida. Isso resulta no acúmulo de amônia no sangue dos peixes, prejudicando seu desempenho e rendimento.

2.2.3 Dureza e Alcalinidade

Conforme [LOURENÇO et al. \[1999\]](#), a dureza e alcalinidade são parâmetros fundamentais a serem considerados na piscicultura, pois indicam a presença de concentrações de cálcio e magnésio na água. Esses minerais desempenham um papel crucial para manter o equilíbrio do pH próximo do neutro. De acordo com [Lopes \[2018\]](#), quando se menciona a capacidade da água de neutralizar ácidos fortes e sua mineralização, estamos nos referindo à alcalinidade. Em viveiros de peixes, é desejável manter níveis de alcalinidade acima de 20 mg/L. Segundo o estudo de [LOURENÇO et al. \[1999\]](#), outro fator de grande importância na criação de peixes é a nebulosidade, em alguns estados variam a presença de nuvens, principalmente em épocas do ano. Por isso, é fundamental fazer uma escala envolvendo os dias: limpo, parcialmente nublado, totalmente nublado. Essas informações devem ser anotadas pelo piscicultor, pois a presença de luz solar influencia na temperatura e também no oxigênio dissolvido.

2.2.4 Temperatura

Segundo [Leira et al. \[2017\]](#), um dos principais fatores nos fenômenos químicos e biológicos em um viveiro é a temperatura da água. Isso porque todas as atividades fisiológicas dos peixes, como respiração, reprodução e alimentação, estão ligadas à temperatura da água. Os peixes não possuem a capacidade de ajustar sua temperatura corporal conforme a temperatura da água. Cada espécie tem uma temperatura na qual melhor se adapta e se desenvolve, sendo essa temperatura chamada de temperatura ótima. As temperaturas acima ou abaixo do ótimo influenciam para reduzir seu crescimento, saúde e desempenho.

O monitoramento da temperatura deve ser constante, pois o metabolismo dos peixes depende da temperatura. Principalmente devido à variação de temperatura ao longo do dia, o piscicultor deve evitar alimentar os peixes dos viveiros nos horários em que a temperatura estiver abaixo ou acima das tolerâncias. Como já mencionado, [Lopes \[2018\]](#) afirma que a temperatura exerce uma influência direta sobre as atividades fisiológicas dos peixes. Cada espécie possui uma faixa térmica ótima, que representa uma variação de temperatura ideal para o seu desenvolvimento e bem-estar. A tabela 2.3 apresenta a faixa de temperatura de diferentes peixes.

Tabela 2.3: Faixa de temperatura.

[HTML]EFEFEFFaixa de temperatura ideal para diferentes espécies de peixes.	[HTML]EFEFEFFaixa de temperatura ideal para diferentes espécies de peixes.
[HTML]FFFFFFEspécie	[HTML]FFFFFFTemperatura (C)
[HTML]FFFFFFPacu	[HTML]FFFFFF25 a 30
[HTML]FFFFFFTambaqui	[HTML]FFFFFF26 a 28
[HTML]FFFFFFTambacu	[HTML]FFFFFF25 a 30
[HTML]FFFFFFCarpa Comum	[HTML]FFFFFF24 a 30
[HTML]FFFFFFCarpa Capim	[HTML]FFFFFF24 a 27
[HTML]FFFFFFTilápia	[HTML]FFFFFF26 a 28
[HTML]FFFFFFBagre Africano	[HTML]FFFFFF24 a 28
[HTML]FFFFFFPintado	[HTML]FFFFFF22 a 28
[HTML]FFFFFFDourado	[HTML]FFFFFF20 a 28

Fonte: [Lopes \[2018\]](#)

- **Tecnologias de medição de temperatura na piscicultura:** Conforme [LOURENÇO et al. \[1999\]](#) mencionam, a medição da temperatura é obtida por meio de uma simples leitura utilizando um termômetro comum. Essa leitura precisa ser constante porque as variações podem afetar o crescimento e até mesmo determinar a mortalidade em casos de friagem. Segundo [Lopes \[2018\]](#), essa variável deve ser avaliada tanto na superfície quanto, no fundo do viveiro. O instrumento pode ser um termômetro de mercúrio ou digital. Se for utilizado um termômetro de mercúrio, é necessário coletar amostras das diferentes profundidades do viveiro para conhecer a temperatura da água.

2.2.5 pH

Nas palavras de [dos Santos et al. \[2018\]](#), o potencial hidrogeniônico é um dos parâmetros químicos que devem ser monitorados, pois é considerado muito importante na aquicultura. Ele possui um efeito sobre o metabolismo e processos fisiológicos de peixes e de todos os organismos aquáticos. Por meio desse parâmetro, é possível determinar se a água é ácida, neutra ou alcalina. Um valor de pH igual a 7 indica água neutra, valores menores que 7 indicam acidez e valores maiores que 7 indicam alcalinidade. A água pode conter diversas substâncias dissolvidas, e a interação entre essas substâncias por meio de fenômenos biológicos, físicos e químicos determina se a água é ácida, neutra ou alcalina.

Na piscicultura, o solo do viveiro tem influência direta sobre o pH da água. Por exemplo, quanto mais ácido for o solo do local, mais ácida será a água. De acordo com [Lopes \[2018\]](#), alterações elevadas no pH da água podem resultar em perdas significativas na quantidade de peixes, e, além disso, exposições prolongadas podem comprometer o desenvolvimento dos peixes. Segundo o estudo de [Lima et al. \[2013\]](#), se a transparência da água estiver abaixo de 35 cm, o que ocorre quando há muito fitoplâncton na água, o pH pode aumentar consideravelmente,

especialmente no final do dia. Os viveiros que possuem água com alta acidez ou alcalinidade podem enfrentar como consequência a mortalidade dos peixes. Com a diminuição do pH, os peixes aumentam a frequência respiratória, o que os faz respirar mais na superfície e podem morrer imediatamente. Por outro lado, com um pH alto, pode ocorrer a corrosão do epitélio branquial e das nadadeiras, podendo levar os peixes à morte.

- **Tecnologias de medição de pH na piscicultura:** O potencial de hidrogênio possui duas formas de ser medido por meio de pHmetros ou por meio de kits colorimétricos indicadores de pH. Conforme LOURENÇO et al. [1999], o pHmetro é a forma mais precisa dentre as alternativas, pois utiliza um eletrodo que deve ser mergulhado na solução que se deseja medir, permitindo verificar a tensão gerada e convertê-la em uma escala de pH. Já os kits são menos complexos de usar; eles mudam de cor ao entrar em contato com as soluções, exibindo uma cor diferente dependendo do pH da amostra. A figura 2.4 apresenta alguns equipamentos utilizados para a medição dos parâmetros na piscicultura.

Figura 2.4: Equipamentos utilizados em pisciculturas para mensuração de parâmetros de qualidade da água.



Fonte: RODRIGUES et al. [2013]

2.2.6 Oxigênio Dissolvido

O oxigênio dissolvido (*OD*) é considerado o parâmetro mais importante para a sobrevivência de todas as formas de vida aquática. Nos ambientes aquáticos, o oxigênio é produzido e consumido. Ele pode ser obtido da atmosfera na interface água-ar, mas também pode ser resultado das atividades fotossintéticas de algas e plantas. A quantidade de oxigênio presente na água é influenciada por outras variáveis, como a temperatura, a quantidade de sais presentes e a pressão atmosférica. Como geralmente se encontra com baixa solubilidade na água, a concentração de oxigênio se torna um limitante para a vida subaquática. Se, por um lado, a produção de oxigênio dissolvido pode ser aumentada pela presença de algas nos tanques, o acúmulo de matéria orgânica e sua decomposição levam ao consumo do *OD* disponível para as espécies cultivadas. Quando a concentração de oxigênio dissolvido na água cai abaixo de valores aceitáveis, pode afetar significativamente a saúde do ecossistema aquático e impedir o uso da água para diferentes fins (por exemplo, abastecimento doméstico). A concentração de oxigênio dissolvido na água é o resultado da interação de diversos processos que tendem a aumentar ou diminuir a mesma.

Conforme mencionado por Kubitzka [1998], baixos níveis de oxigênio dissolvido na água podem acarretar prejuízos significativos na criação de peixes, como atraso no crescimento, redução da eficiência alimentar, aumento na incidência de doenças e mortalidade dos peixes. Isso resulta em uma notável redução na produtividade dos sistemas aquícolas. Portanto, é fundamental que o piscicultor compreenda os principais fatores que influenciam a variação do oxigênio dissolvido e realize um monitoramento constante desse parâmetro.

- **Tecnologias de medição de oxigênio dissolvido na piscicultura:** Conforme indicado por [LOURENÇO et al. \[1999\]](#), as coletas de água para medir o oxigênio dissolvido devem ser realizadas a uma profundidade média de 10 cm, considerada a zona ótima para a produção desse gás. Atualmente, é possível realizar a leitura desse parâmetro diariamente nos viveiros, utilizando aparelhos medidores portáteis de oxigênio, que podem ser automáticos ou reguláveis. Para a análise do oxigênio dissolvido, existem dois tipos de sondas: a polarográfica e a galvânica. Ambas utilizam processos diferentes para medição. Em ambas as formas, é gerada uma tensão (que pode ser externa ou não) que interage e gera uma corrente elétrica proporcional à concentração de oxigênio presente na água. O valor calculado é geralmente expresso em mg/L (miligramas por litro) ou partes por milhão. Essa medição é fundamental para monitorar e garantir a qualidade da água nos viveiros, assegurando condições ideais para o desenvolvimento saudável dos peixes.

De acordo com [da Silveira Junior et al. \[2015\]](#), na atualidade, as mensurações na piscicultura são realizadas apenas no ambiente local. O responsável realiza periodicamente a medição dos principais indicadores de qualidade de água por meio de instrumentos de medição, sensores e kits de análise química, e efetua as possíveis correções caso haja algum problema. No entanto, um dos problemas desse método é que o responsável pode não realizar ou se esquecer de fazer o monitoramento na piscicultura. Entende-se que a utilização de tecnologias no processo de cultivo de peixes influencia na diminuição dos custos de produção e no melhor aproveitamento das condições químicas, físicas e biológicas do ambiente.

2.3 Sistemas Computacionais para Monitoramento da Qualidade da Água na Piscicultura

Segundo [Carro and Wagner \[2003\]](#), os sistemas computacionais embarcados estão presentes em praticamente todas as atividades humanas e, com os baixos custos tecnológicos atuais, tendem a aumentar sua presença no cotidiano das pessoas. Por meio desses sistemas, é possível automatizar processos e realizar a coleta de dados para monitoramento de forma automatizada. Esses sistemas são compostos por hardware e software. De acordo com [Junior et al. \[2019\]](#), o software é a parte lógica e abstrata de um sistema computacional e, quando combinado com sensores, pode ser aplicado para a coleta de informações em tempo real, como temperatura da água, oxigênio dissolvido, pH e outros dados relevantes. Essa abordagem permite que o sistema seja escalável, ou seja, pode ser adaptado conforme as necessidades específicas do piscicultor. Isso significa que é possível utilizar um ou vários sensores no mesmo sistema computacional, conforme necessário, para monitorar adequadamente o ambiente de cultivo.

Na piscicultura, para mensurar os dados da qualidade da água, são utilizadas tecnologias comerciais como pHmetro, medidor de oxigênio dissolvido, termômetros, dentre outros. Conforme afirma [dos Santos et al. \[2020\]](#), monitorar a qualidade da água na piscicultura requer esforço e tempo, devido à grande quantidade de parâmetros que precisam ser monitorados de maneira manual. No entanto, conforme mencionado por [Rohit et al. \[2019\]](#), existem muitas tecnologias disponíveis para medir dados na piscicultura, mas poucas delas são automatizadas, e a maioria exige intervenção humana. Para monitorar e operar os sistemas, é necessária a presença física de um usuário, e os dispositivos para medir os vários parâmetros estão disponíveis como componentes individuais, mas não dentro de um único dispositivo. No entanto, com o avanço da tecnologia, é possível automatizar o monitoramento desses parâmetros. Uma das tecnologias que podemos aplicar são os sistemas computacionais.

Para [Laranjeira \[2014\]](#), com a evolução tecnológica, é possível incorporar a eletrônica nos campos de pesquisa e desenvolvimento, o que tem impulsionado inovações nas mais diversas

áreas do conhecimento. Na área da piscicultura, o desenvolvimento de novas tecnologias tem possibilitado mudanças significativas, como o monitoramento dos principais indicadores utilizados na piscicultura e a implementação de sistemas de supervisão, entre outros. A tabela 2.4 detalha as especificações de um medidor multiparâmetro da fabricante Acqua Nativa, abrangendo 5 parâmetros essenciais: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade.

Tabela 2.4: Especificação de medidor multiparâmetro Acqua Nativa.

Especificações	Acqua Nativa				
	pH	Temperatura	Oxigênio Dissolvido	Turbidez	Condutividade
Comunicação	USB				
<i>Datalogger</i>	Sim				
Faixa de Medição	0 a 14	-126 a 1254	0,01 a 100	0 a 1000	0 a 50.000
Precisão	0,02%	0,1	0,05	1,0	± 2.0
Resolução	0,01	0,01 °C	0,01	0,1	0,01
Proteção	IP67				
Multiparâmetro	Sim				
Custo	R\$ 4.580,00				

Fonte: Próprio autor

A tabela 2.5 detalha as especificações de um medidor multiparâmetro da fabricante Hanna Eletronics, abrangendo 5 parâmetros essenciais: pH, temperatura, oxigênio dissolvido, turbidez e condutividade.

Tabela 2.5: Especificação de medidor multiparâmetro Hanna Eletronics.

Especificações	Hanna Instruments				
	pH	Temperatura	Oxigênio Dissolvido	Turbidez	Condutividade
Comunicação	USB				
<i>Datalogger</i>	Sim				
Faixa de Medição	0 a 14	-5. a 55	0 a 50	-	0 a 200
Precisão	± 0.02	± 0.15	±0.10	-	±1
Resolução	0.01	0.01	0.1	-	0.1
Proteção	IP67				
Multiparâmetro	Sim				
Custo	R\$26.364,80				

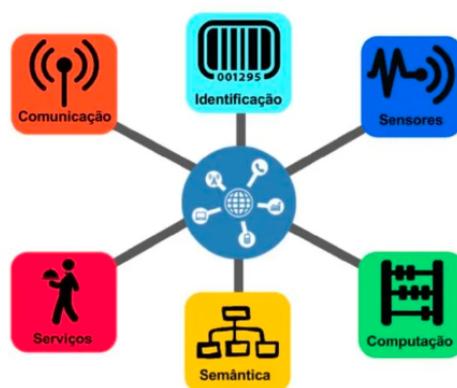
Fonte: Próprio autor

Essa flexibilidade e capacidade de adaptação tornam os sistemas computacionais embarcados uma solução versátil e eficiente para o monitoramento e controle dos parâmetros na piscicultura. Ao combinar hardware e software, é possível criar soluções personalizadas que atendam às demandas específicas do cultivo de peixes, contribuindo para uma gestão mais precisa e sustentável da atividade.

2.4 Internet das Coisas Aplicada para Coleta de Dados

Santos et al. [2016] afirmam que a Internet das Coisas pode ser vista como a combinação de diversas tecnologias, as quais são complementares no sentido de viabilizar a integração dos objetos no ambiente físico ao mundo virtual. Quando combinadas, é possível coletar dados de sensores e enviar esses dados via sistemas computacionais para um usuário final. A figura 2.5 apresenta os módulos básicos que compõem a Internet das Coisas (*IoT* do inglês *Internet of Things*).

Figura 2.5: Blocos básicos da IoT



Fonte: Santos et al. [2016]

Para Hoch and Neu [2021], o conceito de *IoT* trouxe uma inovação tecnológica a partir da comunicação entre diferentes dispositivos e sistemas via redes, como a Internet. Com essa inovação, houve a possibilidade de coletar e transmitir dados para automatizar tarefas do nosso dia a dia, trazendo diversas oportunidades e possibilitando a automatização de ambientes em diversas áreas, além de melhorar a eficiência no gerenciamento e utilização de recursos em diferentes cenários do nosso cotidiano. Neste contexto, a tecnologia de *IoT* é viável para a coleta de dados de sensores remotos em tempo real, podendo ser aplicada por meio de diversos protocolos de comunicação. Dentre eles:

- **Transporte de Telemetria de Fila de Mensagens (*MQTT* do inglês *Message queuing telemetry transport*):** Este protocolo é um padrão de comunicação leve e eficiente, projetado para a troca de mensagens em redes com largura de banda limitada e baixa potência de processamento. Ele foi criado para facilitar a comunicação entre dispositivos conectados à Internet das Coisas, permitindo o envio e recebimento de dados de forma assíncrona e em tempo real. Esse protocolo pode ser uma solução eficiente e flexível para a troca de informações em tempo real na piscicultura.
- **Protocolo de transmissão de hipertexto (*HTTP* do inglês *Hypertext transfer protocol*):** Este protocolo é amplamente utilizado para comunicação na Internet, em que os dispositivos fazem requisições para servidores e recebem respostas. É comumente usado para interações com interface de programação de aplicações (*APIs* do inglês *application programming interface*) na nuvem e aplicações webs, mas também pode ser empregado em dispositivos *IoT* para enviar e receber dados.

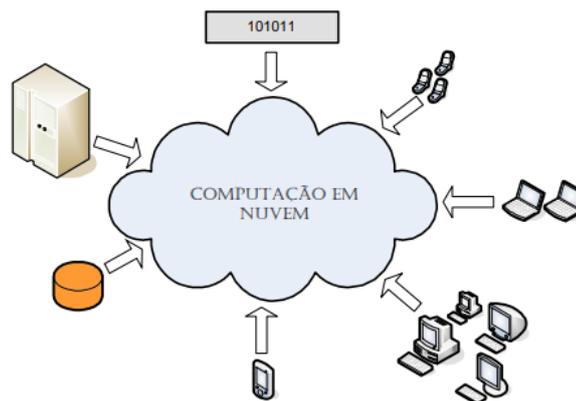
- **Longo alcance (*LoRa* do inglês *Long Range*)** Este protocolo possui longo alcance e baixo consumo de energia, sendo projetado para permitir a conexão de dispositivos *IoT* em áreas remotas e com baixa infraestrutura de rede. É especialmente usado em aplicações de redes de sensores em áreas rurais ou com alcance estendido.
- **Rede de área ampla de baixa potência (do inglês *Sigfox low power wide area network*:)** Este protocolo possui comunicação de baixo consumo de energia, operando em bandas de frequência licenciadas e oferecendo cobertura global. É utilizado em dispositivos *IoT* que necessitam de uma comunicação simples e com baixa taxa de transmissão de dados.

2.5 Computação na Nuvem

A computação em nuvem é uma tecnologia cujo objetivo principal é fornecer recursos e serviços pela Internet. Por meio dessa abordagem, os usuários têm a possibilidade de acessar arquivos e executar diversas tarefas remotamente, utilizando a infraestrutura e capacidade de processamento disponibilizadas por provedores de serviços em nuvem. Essa modalidade de computação oferece inúmeras vantagens, como a flexibilidade para escalar recursos conforme a demanda, maior facilidade de gerenciamento, redução de custos com infraestrutura física e a possibilidade de acessar os serviços de qualquer lugar com conexão à Internet.

Para [Ruschel et al. \[2010\]](#), a computação em nuvem é uma tendência tecnológica recente que tem como principal objetivo oferecer serviços de Tecnologia da Informação sob demanda, com pagamento baseado no uso. Através da computação em nuvem, os usuários podem transferir seus dados e aplicações para a nuvem, permitindo o acesso a eles de maneira simples e a partir de qualquer local. Essa tecnologia também viabiliza a recepção de dados por meio da *IoT*, pois é amplamente empregada em aplicações que envolvem a coleta de informações do mundo real por meio de sensores. A figura 2.6 apresenta uma visão geral de uma infraestrutura de nuvem computacional.

Figura 2.6: Visão geral de uma nuvem computacional.



Fonte: [Ruschel et al. \[2010\]](#)

2.6 Aprendizado de Máquina

O aprendizado de máquina é uma área da inteligência artificial que se fundamenta na capacidade dos sistemas de aprender a partir de dados históricos. Através de algoritmos, esses sistemas podem gerar previsões e identificar padrões sem requerer uma intervenção humana substancial.

Mahesh [2020] afirma que a aprendizagem de máquina é o estudo científico de algoritmos e modelos estatísticos que podem ser utilizados em sistemas computacionais para executar tarefas específicas sem necessidade de programação explícita. A aprendizagem de máquina abrange várias tarefas, incluindo classificação, regressão, agrupamento, associação, previsão e geração. Ela pode ser classificada em aprendizado supervisionado, não supervisionado, semi-supervisionado e aprendizado por reforço. A figura 2.7 apresenta uma das bibliotecas para uso em algoritmos de aprendizado de máquina.

Figura 2.7: Biblioteca para uso em algoritmos de aprendizado de máquina



Fonte: [Wikipédia Scikit-Learn](#)

2.6.1 Aprendizado Supervisionado

Conforme apontado por *Fontana [2020]*, os algoritmos de aprendizagem supervisionada têm como principal objetivo estabelecer uma relação entre uma entrada e uma saída, com base em dados previamente rotulados. Em outras palavras, é fundamental fornecer ao algoritmo pares de entradas e saídas conhecidos, a partir de uma base de dados. Cada saída recebe um rótulo, que pode ser um valor numérico ou uma classe. O algoritmo, então, busca identificar um padrão que permita prever o rótulo de saída a partir de uma entrada fornecida. Estes algoritmos podem ser divididos entre classificação e regressão.

Os algoritmos de classificação visam classificar instâncias e amostras conforme as características observadas pelo supervisor, buscando a previsão de valores discretos. Esses algoritmos são amplamente utilizados em tarefas de categorização, onde o objetivo é atribuir cada instância a uma classe específica com base em suas características. A seguir, serão apresentados alguns exemplos de algoritmos de classificação comumente empregados em diversas aplicações.

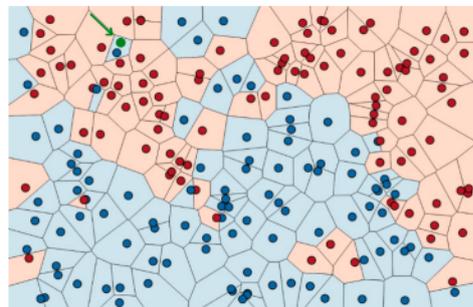
- **Árvore de decisão (do inglês *Decision Trees*):** Este algoritmo pode ser utilizado tanto para classificação quanto para regressão, ou seja, pode ser usado para prever categorias discretas e também valores numéricos. A composição desse algoritmo é similar à de um fluxograma, estabelecendo nós que se relacionam entre si e criando estruturas de decisão. Sua abordagem matemática utiliza a fórmula da Entropia e o ganho de informação para definir o nó raiz e o posicionamento dos demais nós que compõem a árvore.
- ***Naive Bayes*:** Este algoritmo utiliza métodos probabilísticos baseados no Teorema de *Bayes*. Por meio de cálculos estatísticos, ele é capaz de realizar tarefas de classificação

e regressão. Este teorema fornece uma base sólida para estimar a probabilidade de um evento ocorrer com base em informações anteriores. Essa abordagem estatística permite que o algoritmo faça previsões e tome decisões com base em probabilidades, fornecendo resultados em diferentes cenários. Tanto a classificação quanto a regressão podem se beneficiar desse método, adaptando-se às necessidades específicas do problema em questão.

- **K - Vizinhos mais próximos (*KNN*) do inglês *K-nearest neighbors*:** Segundo Fontana [2020], o algoritmo KNN (K - Vizinhos mais Próximos), conhecido por ser baseado em vizinhos próximos, é um algoritmo mais simples utilizado tanto para classificação quanto para regressão, devido à sua falta de necessidade de treinamento. O princípio básico de funcionamento deste algoritmo é memorizar um conjunto de dados de treinamento e prever a classe de um novo ponto com base na distância dos vizinhos mais próximos desse ponto. Em outras palavras, o algoritmo analisa os pontos próximos da nova amostra por meio de cálculos da distância euclidiana, e a classe desse novo ponto é definida de acordo com os pontos mais próximos.

Alguns métodos requerem hiperparâmetros para serem utilizados no treinamento do modelo. Esses parâmetros são considerados atributos que são utilizados durante o treinamento do modelo. Neste algoritmo, é necessário alterar o valor de K. Este parâmetro corresponde ao número de vizinhos próximos que a nova amostra deve considerar para avaliar a similaridade. Por exemplo, se K for igual a 1, a nova amostra deve calcular a distância de apenas um vizinho para classificação; se for igual a 3, deve calcular a distância euclidiana de 3 vizinhos para classificação. A figura 2.8 apresenta uma ilustração das fronteiras de decisão binária utilizando um vizinho próximo.

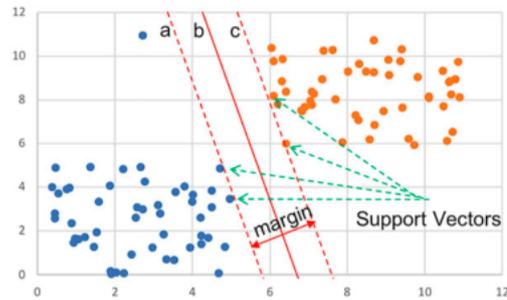
Figura 2.8: Exemplo de classificação usando 1-NN.



Fonte: Fontana [2020]

- **Máquinas de vetores de suporte (*SVM* do inglês *Support Vector Machine*):** Este algoritmo pode ser utilizado tanto para regressão quanto para classificação. Seu principal objetivo é definir uma separação linear entre as classes por meio de uma abordagem matemática que utiliza dois vetores de suporte para encontrar o melhor hiperplano de separação linear. Quanto mais próxima à instância estiver do plano de separação, maior será a dificuldade da classificação; quanto mais distante a instância estiver do plano de separação, mais fácil será a classificação pelo algoritmo. Essa técnica pode ser aplicada em dois tipos de planos de separação: o linear e o não linear. A figura 2.9 apresenta um exemplo de plano de separação linear.

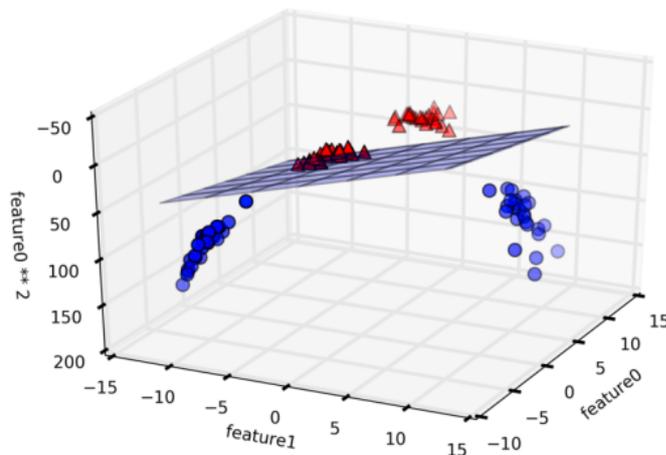
Figura 2.9: Representação do plano de separação usando SVM.



Fonte: Fontana [2020]

No entanto, o algoritmo *SVM* também pode ser utilizado em planos de separação não linear. Nesse caso, quando não há uma separação linear clara entre as classes, é possível adotar uma estratégia para criar um plano bidimensional, adicionando um novo atributo ao conjunto de dados para torná-los linearmente separáveis em um espaço de maior dimensão. A figura 2.10 apresenta um exemplo de plano de separação não linear.

Figura 2.10: Plano de separação considerando um terceiro parâmetro no conjunto de dados, e plano de separação não linear,



Fonte: Fontana [2020]

- **Regressão logística:** A regressão logística é utilizada para determinar a probabilidade de um evento acontecer. Os dados de treinamento terão uma variável independente, e a saída desejada seria um valor entre 0 e 1. Uma vez que o algoritmo é treinado com regressão logística, ele pode prever o valor de uma variável dependente (entre 0 e 1) com base no valor da variável independente (entrada).

Para [Fontana \[2020\]](#), os algoritmos de regressão são métodos de aprendizagem supervisionada que relacionam um conjunto de atributos de entrada com uma ou mais saídas contínuas, as quais podem assumir qualquer valor em um intervalo.

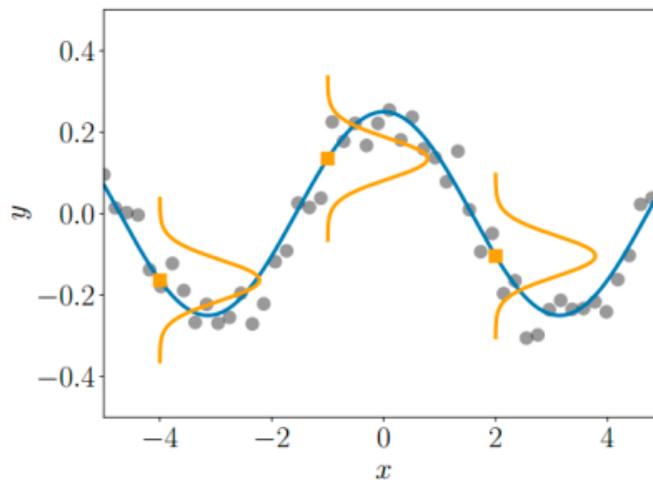
Conforme mencionado anteriormente, os algoritmos de árvore de decisão, floresta randômica, *KNN*, *SVM* e *Naive Bayes* são algoritmos versáteis que podem ser utilizados tanto para tarefas de classificação quanto para regressão. No contexto da regressão, eles permitem fazer previsões de valores numéricos com base em padrões e tendências presentes nos dados.

A seguir, serão apresentadas algumas técnicas específicas de regressão amplamente empregadas para realizar previsões de dados numéricos.

- **Regressão linear:** Esta técnica é um método em aprendizagem supervisionada, cujo principal objetivo é treinar um algoritmo para encontrar uma relação linear entre os dados de entrada e saída. Este é um modelo utilizado para realizar previsões numéricas, diferente de métodos de classificação. Pode ser considerado o modelo mais simples usado, onde as saídas representam uma combinação ponderada linearmente das saídas.

A regressão linear pode ser usada para prever valores em uma faixa contínua. Nos dados de treinamento para a regressão linear, uma variável de entrada e uma variável de saída correspondente são fornecidas. A partir dos dados de entrada rotulados fornecidos, o algoritmo de regressão calcula a interceptação e o coeficiente x na função linear. A figura 2.11 apresenta um exemplo de regressão linear.

Figura 2.11: Exemplo de regressão. Pontos representam dados de treinamento com ruído.



Fonte: [Fontana \[2020\]](#)

2.6.2 Aprendizado não Supervisionado

Os algoritmos de aprendizagem não supervisionada não precisam de rótulos para os dados de saída, ou seja, não requerem dados históricos. De acordo com [Marotta \[2019\]](#), o aprendizado não supervisionado é um ramo do aprendizado de máquina que permite a identificação de padrões através de técnicas como o agrupamento de dados. O seu funcionamento ocorre da seguinte forma: com base em um grande conjunto de dados não rotulados, o algoritmo busca padrões e

similaridades entre os dados, sendo capaz de identificar grupos similares ou a similaridade de novos itens com grupos já definidos quando uma nova amostra é apresentada.

Os algoritmos não supervisionados podem ser divididos em algoritmos de transformação e algoritmos de agrupamento. Os algoritmos de transformação têm como funcionalidade criar uma nova representação de um conjunto de dados que seja mais conveniente do que a original, seja para facilitar a interpretação humana ou para melhorar o desempenho de outros algoritmos de aprendizagem. Por outro lado, os algoritmos de agrupamento funcionam agrupando os dados, realizando cálculos de distância euclidiana para analisar a similaridade entre cada amostragem com base na distância.

2.6.3 Aprendizado por reforço

Júnior et al. [2022] afirmam que o aprendizado por reforço é um campo de estudo que visa possibilitar que um sistema computacional aprenda por meio de estímulos provenientes do ambiente no qual ele está inserido. Nessa abordagem, o sistema recebe recompensas ou punições como feedback do seu desempenho, permitindo que ele desenvolva estratégias e tome decisões com base nesses estímulos. Esta técnica tem como principal objetivo realizar o treinamento de modelos de aprendizado para tomar uma sequência de decisões. Neste algoritmo, o agente aprende a atingir uma meta em um ambiente incerto e potencialmente complexo. No aprendizado por reforço, o sistema de inteligência artificial enfrenta uma situação. O computador utiliza tentativa e erro para encontrar uma solução para o problema.

2.7 Considerações sobre o Capítulo

Neste capítulo, foram abordados os conceitos fundamentais para a compreensão desta dissertação. Inicialmente, foi apresentado o conceito de piscicultura, enfatizando sua importância e relevância como atividade produtiva. Em seguida, foram detalhados os principais parâmetros físico-químicos essenciais para o monitoramento da qualidade da água na piscicultura. Compreender a variação desses parâmetros é crucial para garantir um ambiente adequado e saudável para o desenvolvimento dos peixes.

Por fim, foram revisadas as principais tecnologias que serão aplicadas na solução proposta. Essas tecnologias incluem sistemas computacionais embarcados para a coleta e transmissão dos dados dos sensores, o uso de protocolos de comunicação IoT para viabilizar a transmissão dos dados para a nuvem e a utilização da computação em nuvem para armazenar e processar os dados coletados, por fim aprendizado de máquina supervisionado para análise e previsões.

Capítulo 3

Trabalhos Relacionados

Neste capítulo, será apresentada uma análise detalhada dos trabalhos correlatos à temática desta pesquisa. A revisão da literatura desempenha um papel fundamental ao situar este estudo dentro do contexto acadêmico e científico existente.

3.1 Revisão da Literatura

Para a elaboração deste trabalho, realizou-se uma revisão bibliográfica, que abordou os seguintes tópicos: qualidade da água, sensoriamento remoto, previsão de alimentação, aprendizado de máquina, aplicadas na área da piscicultura. O objetivo dessa revisão foi avaliar os conceitos fundamentais, realizar uma análise da literatura relacionada a esta pesquisa e mensurar os resultados apresentados nas fontes bibliográficas consultadas.

A análise da qualidade da água é uma preocupação crescente na piscicultura, devido à sua importância para o crescimento e desenvolvimento dos peixes. A maior parte dos trabalhos sobre o tema tem caráter tanto teórico quanto prático, abordando aspectos como os parâmetros físicos, químicos e biológicos da água, bem como os métodos de avaliação da qualidade da água.

A temática de previsão da quantidade de ração na atividade da piscicultura é importante, pois a quantidade de ração fornecida aos peixes pode influenciar significativamente seu crescimento e desenvolvimento, bem como a qualidade da água dos viveiros.

Portanto para realizar a revisão da literatura, foi adotada uma metodologia de duas etapas. Na primeira etapa, foram selecionados trabalhos que abordavam o monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água e sua importância para a análise da água. Na segunda etapa, foram selecionados trabalhos relacionados à previsão de alimentação na atividade da piscicultura. Dentre os trabalhos encontrados destacam-se:

3.1.1 Estudo da Viabilidade no Desenvolvimento de um Sistema Computacional de baixo custo para Monitoramento da Qualidade da Água em cultivos e organismos aquáticos

Nesta pesquisa, [Junior et al. \[2018\]](#), afirma que os sistemas automatizados na piscicultura podem ser uma solução para minimizar ou otimizar alguns pontos-chave para o sucesso do negócio, tais como:

- O monitoramento em tempo real da qualidade da água, possibilitando a intervenção rápida quando os parâmetros se encontram alterados;
- Interface com outras práticas de manejo produtivo.

O autor destaca que os sistemas automatizados podem contribuir para a melhoria da qualidade da água, da produtividade e da eficiência da piscicultura.

Com a inovação tecnológica, os métodos de análise na piscicultura podem ter benefícios, as inovações tornaram-se um indicador de extrema relevância para crescimento substancial da agricultura, trabalhando de forma interdisciplinar e utilizando a tecnologia como ferramenta de auxílio nas resoluções de problemas reais. Nesta pesquisa o autor tem como principal objetivo, inicialmente, estudar a viabilidade da criação de um sistema computacional capaz de coletar informações sobre os parâmetros químicos e físicos da água em viveiros escavados. Com a automação a agropecuária pode avançar como forma de assegurar o aumento de produção e produtividade no Brasil e ainda manter e estimular o crescimento das indústrias de máquinas e equipamentos agropecuários. Ressalta se que é cada vez maior o interesse de empresas multinacionais nas oportunidades crescentes do agronegócio brasileiro o investimento em automação.

No projeto apresentado, o autor desenvolve um sistema embarcado para o monitoramento de três parâmetros da piscicultura: temperatura, turbidez e pH. O sistema é de baixo custo e apresenta condições favoráveis para a criação de um sistema computacional inovador, que permite aos usuários acessar os dados em tempo real. No entanto, a pesquisa apresentada neste trabalho monitora os parâmetros, temperatura, pH, níveis de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Além disso, outra funcionalidade é o auxílio no manejo alimentar.

3.1.2 *Cost Efficient Automated Pisciculture Assistance System using Internet of things(IoT)*

Com o avanço da tecnologia, muitos processos estão sendo digitalizados e automatizados. Um exemplo destes processos pode-se encontrar na aquicultura e na piscicultura. Rohit et al. [2019] apresenta uma pesquisa em Bangladesh com um sistema automatizado utilizando *IoT* para monitoramento das condições de água na piscicultura.

Bangladesh é um país em desenvolvimento localizado no sul da Ásia, com uma posição geográfica favorável para a pesca. O país possui inúmeras espécies aquáticas e fornece muitos recursos para a aquicultura. A maioria da população é dependente do peixe como alimento, e o país também importa peixes para outras regiões. Atualmente, Bangladesh utiliza o método de Recirculação de Sistemas de Aquicultura (RAS) para a produção de peixes. Este método é uma forma de aquicultura intensiva que permite a criação de peixes em altas densidades em ambientes controlados. Os sistemas RAS filtram e reciclam a água através de tanques de piscicultura, adicionando água nova apenas para compensar os respingos, evaporação e lavagem de resíduos.

Os peixes cultivados em RAS, devem receber um fornecimento contínuo de água limpa a uma determinada temperatura e oxigênio dissolvido. Esses parâmetros são essenciais para o crescimento ideal dos peixes.

Este trabalho, propõe um sistema móvel de monitoramento da qualidade da água para piscicultura. O sistema é composto por três sensores, que medem a temperatura, pH e a turbidez da água. Os dados coletados são transmitidos em tempo real para um aplicativo móvel, permitindo que o piscicultor acompanhe as condições da água a qualquer momento. O sistema é de baixo custo e fácil instalação, tornando-o uma opção viável para os piscicultores.

O sistema foi testado em diversos ambientes, com resultados satisfatórios. No entanto, ele não mede o nível de oxigênio dissolvido, um dos parâmetros mais importantes da piscicultura.

Além disso, o sistema não utiliza técnicas de aprendizado de máquina para auxiliar no manejo alimentar.

3.1.3 *Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment*

Este projeto foi realizado em Taiwan, neste artigo [Chen et al. \[2015\]](#) desenvolve um sistema de monitoramento automatizado utilizando uma rede de sensores sem fio para monitorar um ambiente de cultivo de peixes.

Em Taiwan o autor afirma que a tecnologia de pesca cada vez mais progride. As tecnologias utilizadas na piscicultura foram desenvolvidas através da atenção e afirmação internacional. Essa tecnologia é usada para alcançar alta eficiência econômica e operacional.

Para a sociedade de Taiwan, a aquicultura é uma das linhas de vida econômicas mais importantes, e com o avanço da tecnologia é possível realizar o monitoramento de alguns parâmetros que são imprescindíveis para manter a qualidade da água.

A pesquisa realizada neste trabalho foi apoiada pelo Conselho Nacional de Ciência de Taiwan e teve apoio financeiro da Universidade Nacional de Tecnologia Chin-Yi. No projeto os autores utilizam Tecnologias de transmissão sem fio de curto alcance ZigBee, o uso do padrão *IEEE802.15.4* com isso o sistema obtém alguns ganhos como, baixo consumo de energia, baixa taxa e baixo custo. Foi desenvolvido o *hardware* com o sistema embarcado, e os sensores de temperatura, oxigênio dissolvido, pH e nível de água, para o piscicultor ter acesso ao monitoramento dos dados, foi criada uma interface no sistema operacional Android. Este sistema pode ser utilizado para vários setup de monitoramento ambiental, como sistemas de tratamento de plantas, sistemas de segurança doméstica de monitoramento ambiental. Combinado com a *IoT*, independentemente de onde o usuário esteja localizado, o usuário pode receber o ambiente de mensagens instantâneas.

Nesta pesquisa, o autor monitora os principais parâmetros físico-químicos. No entanto, no trabalho desenvolvido, deve ser realizado o monitoramento dos parâmetros, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e auxílio no manejo alimentar com os dados coletados através dos sensores.

3.1.4 *Machine learning for manually-measured water quality prediction in fish farming*

O trabalho apresentado por [Zambrano et al. \[2021\]](#) demonstra o uso da tecnologia de Inteligência artificial fazendo um estudo com o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, que incluem, florestas randômicas, regressão linear, e redes neurais artificiais para analisar os parâmetros da qualidade da água na piscicultura. O autor propõe uma metodologia para usar os algoritmos em dois cenários, sendo uma estimativa de variáveis não observadas com base nas observadas e segundo cenário a previsão quando uma baixa quantidade de dados está disponível para treinamento.

O autor enfatiza na sua pesquisa sobre a importância de realizar o monitoramento dos parâmetros da qualidade da água, cada uma dessas variáveis podem ocasionar mortalidade dos peixes, contribuem com a tomada de decisão de alimentação dos peixes, e muitos desses parâmetros são utilizados em combinações para tomada de decisão na atividade da Piscicultura. Nesse contexto o autor apresenta o quanto o uso de aprendizado de máquina pode contribuir na atividade da piscicultura, permitindo que piscicultores possuam dados de forma otimizada para melhorarem a sua tomada de decisão, com isso, otimizando a produção dos peixes.

Nesta pesquisa o autor afirma que pode ter sistemas que realizam a coleta desses dados de forma automatizada, como por meio de sensores, porém neste trabalho os piscicultores preferem realizar a coleta dos dados de forma manual, uma ou duas medições diárias por variável com os instrumentos de medição. Contudo, o projeto desenvolvido neste trabalho tem como principal objetivo realizar a coleta de dados, dentre eles, temperatura, pH, oxigênio dissolvido, e condutividade elétrica. Além disso, por meio destes dados fazer a previsão de alimentação através do uso de algoritmos de aprendizado de máquina supervisionado, utilizando algoritmos de classificação.

3.1.5 *Water quality assurance in aquaculture ponds using Machine Learning and IoT techniques*

Neste trabalho, o autor [Quintero et al. \[2022\]](#) desenvolve um sistema de monitoramento e previsão da qualidade da água utilizando sensores de temperatura e oxigênio dissolvido. Foi utilizado um *hardware* para fazer a aquisição e processamento dos sinais dos sensores, e realizada a transmissão destes sinais via bluetooth por ser um protocolo de baixo consumo de energia a um aplicativo móvel como meio de comunicação entre o protótipo *IoT* e o aplicativo web para realizar a previsão da qualidade da água com base nos parâmetros de temperatura e oxigênio dissolvido.

A arquitetura utilizada pelo autor, e dividida em 5 etapas. A primeira, está relacionada a interação do sistema com o usuário, onde possui uma interface gráfica de usuários que se encarrega de criar a representação visual do sistema, como os formulários de registro, botões de acesso, tabelas de controle, gráficos, para que o usuário possa fazer uso de um formato muito mais intuitivo. A segunda é referente a lógica do sistema, como o sistema recebe, armazena, processa e solicita informações ao banco de dados para que o aplicativo web possa realizar seu correto funcionamento. A terceira é a base de dados do sistema. A quarta é referente a interface de conexão com o dispositivo *IoT*. Por fim, a quinta e ultima etapa é referente ao modelo de aprendizado de máquina, processando os dados recebidos do ? para a previsão da qualidade da água.

Quando o sistema obtém valores que sejam prejudiciais segundo o modelo de aprendizado de máquina, o usuário é notificado por e-mail. Foram realizados vários testes durante a etapa de desenvolvimento para que seu uso na aquicultura ajude a minimizar os riscos de perda na produção.

O que diferencia o sistema a ser desenvolvido neste trabalho para o trabalho de [Quintero et al. \[2022\]](#), é que será monitorado quatro parâmetros, que incluem, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Além disso, será realizada a previsão da quantidade de ração com base nos dados de temperatura da água.

3.1.6 *A Computer Vision-Based Intelligent Fish Feeding System Using Deep Learning Techniques for Aquaculture*

Este trabalho propõe um sistema automático de alimentação de peixes baseado em tecnologia de aprendizagem profunda. O sistema desenvolvido pelo autor [Hu et al. \[2022\]](#) utiliza tecnologia de aprendizagem profunda para reconhecer o tamanho das ondas causadas pela alimentação dos peixes e determinar se devem continuar ou parar a alimentação. Outra funcionalidade é o monitoramento dos parâmetros da qualidade da água por meio de sensores, que incluem, pH, oxigênio dissolvido e Potencial de Oxidação-Redução (*ORP* do inglês *Oxidation Reduction Potential*).

A arquitetura do sistema é composta por três etapas divididas em módulos. A primeira etapa, é composta por um módulo de detecção de imagem, responsável por realizar a aquisição das imagens para o processamento e auxílio na recomendação de alimentação. A segunda etapa é composta pelo módulo de inspeção da qualidade da água, que incluem sensores de, pH, oxigênio dissolvido, *ORP* e um transmissor de sinais. Por fim, a terceira e última etapa é composta pelo módulo de processamento de sinais, responsável por controlar ações de alimentação, este módulo recebe informações do módulo de detecção de imagens e o resultado do mecanismo de aprendizado profundo, que recebe as imagens capturadas pelo sensor de imagem e detecta ondulações na superfície da água para determinar a alimentação dos peixes.

O sistema foi instalado com sucesso em um lago no departamento de aquicultura da Universidade Nacional de ciência e tecnologia Penghu, Magong, Penghu, Taiwan. O que diferencia o trabalho do autor para o trabalho que está sendo desenvolvido, é que são monitorados quatro parâmetros, que incluem, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. E o auxílio do manejo alimentar é realizado com base nas informações de peso, quantidade de biomassa no tanque e temperatura da água. A primeira momento não será utilizado técnicas de aprendizado profundo para prever o peso e a quantidade de peixes no tanque, porém pretende-se como trabalho futuro realizar esta técnica com as informações deste estudo.

3.2 Discussão

Os trabalhos encontrados na revisão bibliográfica desta proposta demonstram a importância da análise dos principais parâmetros Físico-químicos utilizados na piscicultura, pois estes são fundamentais para o sucesso desta atividade. Porém pode-se notar a necessidade da combinação de sistemas de telemetria com o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, buscando facilitar o piscicultor, como a previsão da alimentação.

Esses trabalhos, quando trazidos para o contexto de monitoramento automatizado da qualidade da água na piscicultura, servem como ponto de partida para a concepção de uma solução, porém é necessário avaliar e especificar tecnologias alternativas

A tabela 3.1 oferece uma síntese das principais tecnologias, *hardwares* e métodos de comunicação empregados nos trabalhos descritos neste capítulo. Essa ferramenta visa facilitar a comparação entre as diferentes pesquisas, permitindo ao leitor identificar rapidamente as características e abordagens específicas de cada estudo.

Dos trabalhos pesquisados, nenhum apresenta um registrador de dados local para armazenamento de dados em caso de falta de energia. Enquanto neste trabalho, o último descrito na tabela, está sendo realizada a gravação local de dados através de um registrador de dados local. Todos os trabalhos utilizam um único *hardware* para a aquisição e processamento de sinais e envio de dados via Wi-Fi, neste trabalho é utilizado um *hardware* para aquisição e processamento de sinais e outro para *gateway*.

Seis trabalhos realizam o monitoramento de parâmetros da água. No entanto, desses trabalhos, nenhum monitora o parâmetro condutividade elétrica. Enquanto neste trabalho, são monitorados quatro parâmetros: temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Por outro lado, apenas dois trabalhos utilizam a técnica de *machine learning* para a previsão da qualidade da água.

Apenas dois trabalhos são aplicados para auxiliar no manejo alimentar em operações de piscicultura. O trabalho de [Hu et al. \[2022\]](#) aplica uma técnica de machine learning baseada em visão computacional para reconhecer imagens de ondas de água em tanques de aquicultura e monitora os parâmetros oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxidação-redução para realizar a alimentação automática. No entanto, neste trabalho, é desenvolvido um software para visualiza-

ção dos dados monitorados, dentre eles, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica e são aplicadas técnicas de machine learning para gerar a recomendação de alimentação com base na temperatura da água e nos dados inseridos pelo piscicultor.

Tabela 3.1: Tabela de trabalhos correlatos

Autor	Título do Trabalho	Hardwares Processamento / Gateway	Comunicação	Datalogger	Software	Machine Learning	Variáveis Monitoradas
Junior et al. [2018]	<i>Estudo da Viabilidade no Desenvolvimento de um Sistema Computacional de baixo custo para Monitoramento da Qualidade da Água em cultivos e organismos aquáticos</i>	Arduíno Uno	Não aplica	Não aplica	Não aplica	Não aplica	temperatura, turbidez e pH
Rohit et al. [2019]	<i>Cost Efficient Automated Pisciculture Assistance System using Internet of things</i>	NodeMCU	MQTT / WiFi	Não aplica	Sim	Não aplica	temperatura, turbidez e pH
Chen et al. [2015]	<i>Automated Monitoring System for the Fish Farm Aquaculture Environment</i>	MSP430 Texas Instruments	ZigBee / WiFi	Não aplica	Sim	Não aplica	temperatura, oxigênio dissolvido, pH e nível de água
Zambrano et al. [2021]	<i>Machine learning for manually-measured water quality prediction in fish farming</i>	Não aplica	Não aplica	Não aplica	Não aplica	Sim! Qualidade da água	Não aplica
Quintero et al. [2022]	<i>Water quality assurance in aquaculture ponds using Machine Learning and IoT techniques</i>	Arduíno Uno	Bluetooth / WiFi	Não aplica	Sim	Sim! Qualidade da água	temperatura e oxigênio dissolvido
Hu et al. [2022]	<i>A Computer Vision-Based Intelligent Fish Feeding System Using Deep Learning</i>	Módulo MCU	WiFi	Não aplica	Não aplica	Sim! Auxílio manejo alimentar	oxigênio dissolvido, pH e potencial de oxidação-redução
Este trabalho	<i>AquaFeed: Um Sistema de Monitoramento dos Parâmetros Físico-Químicos e Recomendação para Auxílio do Manejo Alimentar na Piscicultura</i>	Arduíno Uno / ESP32	UART / WiFi	Sim. Local e banco de dados em nuvem	Sim	Sim! Auxílio manejo alimentar	temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade Elétrica

Fonte: Próprio autor

Capítulo 4

Metodologia

Este capítulo apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento do sistema de monitoramento dos principais parâmetros físico-químicos da água e auxílio no manejo alimentar para a espécie tambaqui em sistemas de piscicultura. A metodologia será detalhada passo a passo, descrevendo as atividades que foram realizadas.

4.1 Metodologia

O manejo adequado na piscicultura envolve uma alimentação cuidadosa e monitoramento da qualidade da água para assegurar o crescimento e o sucesso desta atividade. Nesse contexto, a proposta é desenvolver uma plataforma acessível que monitore os parâmetros físico-químicos, dentre eles, pH temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica da água e automatize a recomendação da quantidade diária de ração. Foram seguidos os seguintes passos nesta metodologia:

- **Levantamento do estado da arte:** Para desenvolver este trabalho, inicialmente foi realizada uma revisão na literatura para compreender os fundamentos da piscicultura, incluindo os tipos de operações, sistemas, importância do monitoramento dos parâmetros físico-químicos, influência desses parâmetros no manejo alimentar, plataformas de monitoramento mais recentes, tecnologias de sensores disponíveis mencionada no capítulo 2) deste trabalho. Também foram investigadas pesquisas recentes sobre o uso de algoritmos de aprendizado de máquina para auxílio no manejo alimentar e recomendação a quantidade de ração diária da espécie de tambaqui.

O estudo também incluiu uma análise detalhada das tecnologias de sensores empregadas no dos parâmetros físico-químicos da água na piscicultura. Essa análise incluiu a investigação das arquiteturas de *IoT* mais eficazes para o monitoramento desses parâmetros em tempo real mencionado no capítulo 3) deste trabalho.

- **Especificação de arquitetura para coleta de dados** Conforme a revisão de tecnologias realizada no capítulo 2, seção 2.3, foi especificada a arquitetura do sistema para coleta de dados e auxílio no manejo alimentar. Essa arquitetura é composta por sensores, *hardware* para processamento dos dados coletados através dos sensores, plataforma de *gateway*, banco de dados e *software*. A arquitetura será detalhada no capítulo 5.

- **Especificação de sensores:** Nesta fase do projeto, foram definidos os critérios para especificação dos sensores. Conforme a revisão bibliográfica realizada no capítulo 2 foram realizadas avaliações detalhadas e especificações das tecnologias comerciais disponíveis de sensores para monitorar os parâmetros físico-químicos da água, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Essa etapa envolveu uma análise dos instrumentos multiparâmetros disponíveis no mercado, considerando, fabricantes, modelos e características específicas de cada sensor.
- **Especificação do *hardware* de processamento de dados dos sensores:** Nessa etapa, foi especificada e definida a plataforma de *hardware* para realizar o processamento dos dados coletados pelos sensores. Para a realização do estudo, foram definidos critérios de seleção de plataformas de hardware. Em seguida, foram selecionadas algumas plataformas para serem comparadas, conforme mencionado no capítulo 5, seção 5.1.1. O objetivo do estudo comparativo foi avaliar e definir a plataforma que atendesse a todos os critérios definidos. Os resultados do estudo comparativo estão apresentados nas tabelas ?? e ??.
- **Especificação do *hardware* de gateway:** Nesta fase do projeto, foi especificada a plataforma de *gateway*, responsável por receber os dados do *hardware* de processamento de dados através de protocolos de comunicação, e enviá-los para um banco de dados na nuvem. Para definir o *gateway*, foi elaborada uma tabela com critérios de seleção e plataformas selecionadas para serem comparadas. O estudo comparativo foi baseado nos critérios definidos no capítulo 5, seção 5.1.2, tabela 5.3. Os resultados do estudo comparativo estão apresentados na tabela 5.4.
- **Especificação de requisitos de *software*:** Um dos principais requisitos para o desenvolvimento deste sistema foi a elaboração da especificação de requisitos de *software*. Esta etapa foi realizada por meio de reuniões com o professor Thiago Marinho da Universidade Federal do Pará, do ICTA - Instituto de Ciências e Tecnologia das Águas com informações referente a operações na piscicultura, durante as reuniões foi utilizada a metodologia de entrevistas para realizar a prototipação das telas do software.
- **Modelagem de banco de dados:** Na etapa de modelagem do banco de dados do sistema. Foram definidas as entidades, para monitoramento dos parâmetros de qualidade da água e para armazenar os dados inseridos pelo usuário, como peso e quantidade de ração dos alevinos de tambaqui. A modelagem de banco de dados está apresentada no capítulo 5, seção 5.1.4, figura 5.2.
- **Especificação do banco de dados:** Nesta etapa do projeto, foram especificados os requisitos da plataforma de armazenamento de dados. Para isso, foram definidos critérios que a plataforma deve atender. Em seguida, foi realizada uma pesquisa de alguns bancos de dados, comparando-as com os critérios definidos.
- **Desenvolvimento da aplicação do *hardware* de aquisição e processamento de sinais:** Após a definição da arquitetura e todas as especificações do projeto, foi iniciada a etapa de desenvolvimento da aplicação de processamento dos dados. Conforme mencionado no capítulo 5 seção 5.1.1 foi definido o hardware *Arduino Uno*, nesta etapa do desenvolvimento o *firmware* e montadas as conexões dos sensores com o *hardware*.
- **Desenvolvimento da aplicação do *gateway*:** Nesta etapa do projeto, foi realizado o desenvolvimento da aplicação no *hardware* de *gateway*. Conforme mencionado no capítulo 5 na seção 5.1.2 com os critérios definidos, foi utilizado o *ESP32*. Foi realizado o desenvolvimento do *firmware*, elaborada as funções de comunicação *UART* com o *hardware* de

processamento dos dados dos sensores, escrita para inserção dos dados coletados no banco de dados e *datalogger* para salvar os dados em cartão de memória para não acontecer perda de dados em casa de falta de conexão com o *WiFi*.

- **Calibração dos sensores:** Nesta fase do projeto, foram realizadas as calibrações dos sensores de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, seguindo as especificações e recomendações de calibração fornecidas por cada fabricante dos sensores.
- **Testes laboratoriais:** Nesta etapa, foram realizados testes no laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação em Microeletrônica para avaliar o desempenho dos sensores. Alguns foram submetidos em equipamentos para analisar o desempenho em variações de temperatura, outros foram submetidos a testes químicos.
- **Elaboração das bases de dados:** Nesta etapa, foram realizadas pesquisas na literatura para a elaboração das bases de dados. Conforme mencionado no capítulo 5 seção 5.1.9, a primeira, consiste em dados da temperatura da água em relação à porcentagem de alimentação e a segunda informações do peso dos alevinos em relação à taxa de alimentação da espécie de tambaqui.
- **Elaboração e Treinamento dos modelos de aprendizado de máquina:** Após a elaboração das bases de dados, foram desenvolvidos algoritmos de aprendizado de máquina e, em seguida, realizados treinamentos dos modelos.
- **Avaliação dos modelos de aprendizado de máquina:** Nesta etapa, foi realizada a avaliação dos modelos treinados utilizando métricas de desempenho. As métricas utilizadas foram o *MAE*, *MSE* e o coeficiente de determinação. O *MAE* é uma medida de dispersão que calcula a média dos valores absolutos da diferença entre os valores predito e real. O *MSE* é uma medida de dispersão que calcula a média dos quadrados da diferença entre os valores predito e real. O *R2* score é uma medida de ajuste que indica a proporção da variância dos dados que é explicada pelo modelo. Os algoritmos que obtiveram os melhores valores nas métricas foram selecionados para serem utilizados na aplicação.
- **Desenvolvimento do *software* para auxílio no manejo alimentar:** Após a elaboração do modelo de aprendizado de máquina, foi desenvolvido um *software* que inclui uma interface *front-end* e serviço de *back-end* com sistema de acesso. O algoritmo de aprendizado definido foi integrado com o *software* para exibir os resultados da recomendação da quantidade de ração da espécie tambaqui em uma interface. Isso permite aos piscicultores visualizarem em uma interface amigável a recomendação de alimentação fornecida pelo modelo de aprendizado.
- **Testes em Campo:** A última etapa deste trabalho foi a realização de testes em campo para avaliação do sistema de monitoramento. Os testes foram realizados com equipamentos multiparâmetros do laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação em Microeletrônica e com o protótipo desenvolvido. Durante esta etapa, os sensores foram calibrados para garantir a precisão das medidas. Em seguida, foram realizadas comparações entre os resultados das medidas do protótipo e dos equipamentos multiparâmetros. Os resultados dos testes indicaram que o sistema de monitoramento desenvolvido apresentou desempenho satisfatório. As medidas do protótipo apresentaram boa concordância com as dos instrumentos multiparâmetros.
- **Análise estatística:** Os dados medidos em campo são apresentados com as suas médias e os desvios padrões. Para comparação com os sensores comerciais empregou-se o método

estatístico de análise de variância (ANOVA), o qual aplicou-se o teste F entre as variâncias dos dados. Este método indica que existe uma diferença significativa entre as médias comparadas, se o valor calculado de F for maior que o F tabelado, caso contrário são semelhantes estatisticamente. Foram consideradas um nível de probabilidade de 5 por cento, o qual corresponde a 95 por cento de confiança.

4.2 Considerações sobre o Capítulo

Nesse capítulo, foi descrita a metodologia proposta para o desenvolvimento do sistema para o monitoramento dos parâmetros físico-químicos e a recomendação de alimentação em operações de piscicultura da espécie de tambaqui. A aplicação desta metodologia, é possível desenvolver o sistema que possibilita a automatização do processo de mensuração dos dados, e auxílio no manejo alimentar.

Capítulo 5

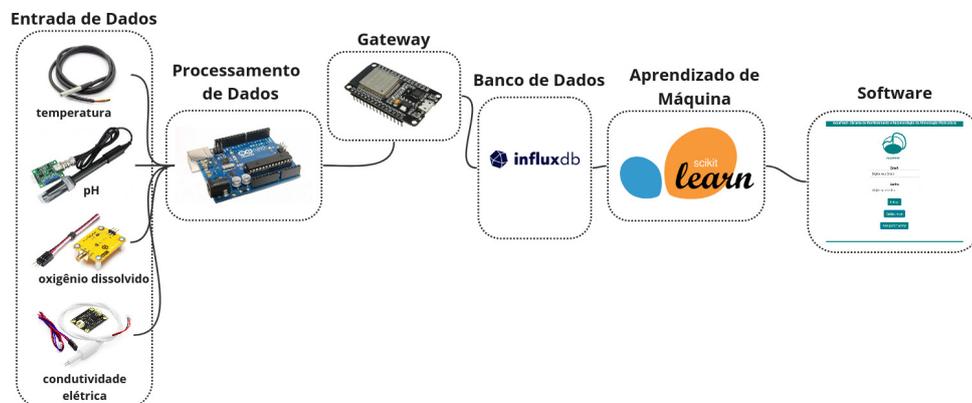
Solução proposta

Este capítulo apresenta a implementação da solução proposta para auxiliar o monitoramento dos parâmetros físico-químicos e manejo alimentar em operações de piscicultura. A solução consiste em uma arquitetura para medir os parâmetros de água e um *software* para visualização dos dados e recomendação de quantidade de ração.

5.1 Solução Geral Proposta

A visão geral da arquitetura proposta para o monitoramento dos parâmetros físico-químicos e auxílio no manejo alimentar em operações de piscicultura é ilustrada na figura 5.1.

Figura 5.1: Arquitetura geral proposta para monitoramento dos parâmetros e auxílio no manejo alimentar.



Fonte: [STA Eletrônica](#), [Smart Projects](#), [Atlas Scientific](#), [Usinainfo](#), [Eletrogate](#), [Usinainfo TDS](#), [LogoWik](#), [Wikipédia Scikit-Learn](#)

A arquitetura proposta funciona da seguinte maneira:

- **Entrada de dados:** Nesta etapa, é realizada a coleta de dados através dos sensores nas operações de piscicultura, como tanques, viveiros, entre outros. Os dados coletados incluem, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Estes parâmetros

são de fundamental importância para manter a qualidade da água. No entanto, dentre esses parâmetros, os dados mensurados de temperatura desempenham um papel fundamental no auxílio do manejo alimentar, prevendo a porcentagem de alimentação em relação à temperatura da água.

- **Processamento de dados:** A etapa de processamento de dados é composta por um dispositivo de *hardware* cujo objetivo é realizar, aquisição e processar os dados coletados pelos sensores e aplicar equações. Além disso, a etapa também inclui a transmissão dos dados tratados dos sensores para o *gateway*.
- **Gateway:** Este dispositivo tem como objetivo armazenar os dados recebidos do *hardware* de processamento através de comunicação transmissor receptor universal assíncrono (*UART* do inglês universal asynchronous receiver transmitter). O *gateway* é responsável por transmitir os dados para o banco de dados na nuvem, permitindo que o piscicultor acesse os dados através do *software* e armazenar os dados em um cartão de memória, caso haja falta de acesso à internet.
- **Nuvem / Banco de Dados:** O banco de dados na nuvem tem como objetivo armazenar os dados encaminhados do *gateway*. A plataforma permite que o piscicultor visualize em tempo real os parâmetros de água, incluindo temperatura, pH, porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Os dados mensurados do sensor de temperatura são utilizados para auxiliar o manejo alimentar nas operações de piscicultura. Essa abordagem viabiliza uma gestão otimizada, pois o piscicultor pode tomar decisões fundamentadas nos dados atualizados, ajustando a alimentação conforme a temperatura da água. Além disso, o uso da nuvem assegura a escalabilidade e a flexibilidade do sistema, permitindo o armazenamento de grandes volumes de dados de forma organizada e acessível.
- **Aprendizado de Máquina:** Nesta etapa, são utilizados os algoritmos de aprendizado de máquina que possibilitam o auxílio no manejo alimentar, gerando a recomendação da quantidade diária de ração da espécie tambaqui. Esses algoritmos consideram informações essenciais, como o peso do peixe, a quantidade de biomassa e a temperatura da água.

5.1.1 Especificação do *Hardware* de Aquisição e Processamento de Sinais da Solução Proposta

Para realizar o processamento dos dados coletados através dos sensores, foi necessário realizar a especificação de um *hardware* que atendesse o projeto. A tabela 5.1 apresenta as principais características e as plataformas de *hardwares* para o desenvolvimento do projeto.

Este processo de análise detalhada permite uma avaliação e a seleção das opções mais adequadas para o sistema. Os requisitos e características na pesquisa foram os seguintes:

- **Tensão de Nível Lógico:** A compatibilidade com a tensão de nível lógico é um requisito fundamental para o *hardware* de aquisição e processamento de sinais. Os sensores utilizados operam com 5 V, portanto, é essencial que o *hardware* seja capaz de suportar essa tensão para garantir uma operação adequada.
- **Conectividade:** A conectividade não é um requisito essencial para o *hardware* de aquisição e processamento de sinais dos sensores, pois o *gateway* é responsável por estabelecer a conexão com a nuvem e enviar os dados coletados.
- **Suporte MQTT / HTTP:** O suporte aos protocolos *MQTT* e *HTTP* não é um requisito crucial para o *hardware*, pois essa responsabilidade é atribuída ao *gateway*.

Tabela 5.1: Definição de requisitos do *hardware* de aquisição e processamento de sinais.

Características	Plataformas
Tensão de Nível Lógico	<i>ESP32 - Dev Kit v1</i>
Conectividade	<i>Arduino Uno</i>
Suporte aos protocolos <i>MQTT</i> e <i>HTTP</i>	<i>ESP8266 nodemcu</i>
Pinagem	<i>LILYGO TTGO</i> <i>LoRa32 V2.1_1.6</i>
Unidade Central de Processamento (<i>CPU</i> do inglês <i>Central Processing Unit</i>)	<i>STM32MP157D-DK1</i>
Temperatura de Operação	
Tensão / Amperagem	
Sistema Operacional	
Custo	

Fonte: Próprio autor

- **Pinagem:** A integração de entradas analógicas e digitais é um critério relevante no contexto do *hardware* de aquisição e processamento de sinais, pois, permite a coleta de dados provenientes de sensores de diferentes tipos, sejam eles analógicos ou digitais.
- **CPU:** A CPU é o componente mais importante do *hardware*. É responsável por executar todas as tarefas necessárias para o funcionamento do sistema, incluindo:
 - **Processamento de dados:** Execução das operações matemáticas e lógicas necessárias para converter os sinais analógicos dos sensores em dados digitais.
 - **Execução de aplicativos:** A CPU é responsável por executar os aplicativos que controlam o sistema e processam os dados coletados.
 - **Gerenciamento de memória:** A CPU é responsável por gerenciar a memória do sistema para que os aplicativos e dados tenham acesso aos recursos necessários.
 - **Controle geral do dispositivo:** A CPU é responsável por controlar o funcionamento geral do dispositivo, incluindo a inicialização, o desligamento e o gerenciamento de energia.
- **Temperatura de Operação:** A faixa de temperatura de operação é um fator crítico a ser considerado no *hardware* de aquisição e processamento de sinais para o projeto, uma vez que a plataforma deve ser implantada em áreas externas expostas a condições climáticas extremas, como tanques de piscicultura.
- **Tensão / Amperagem:** Os requisitos de tensão e amperagem da fonte de alimentação do dispositivo é importante para avaliar o consumo de energia e o aquecimento da plataforma.
- **Sistema Operacional:** Este requisito não é considerado essencial para este *hardware* no momento, todavia pode ganhar relevância em futuras aplicações, especialmente para o *gateway*, devido à possibilidade de criar aplicações locais para salvar estes dados.
- **Custo:** Este é um requisito fundamental para todos os *hardwares* do sistema. A ênfase na viabilidade econômica se justifica pela perspectiva de replicação da plataforma, visando

beneficiar piscicultores que podem não ter acesso a ferramentas para um manejo eficiente na atividade piscícola.

A tabela 5.2 apresenta o estudo comparativo dos requisitos e características entre as plataformas pesquisadas.

Tabela 5.2: Estudo comparativo *hardwares* de aquisição e processamento de sinais.

Características	<i>Hardwares</i>				
	<i>ESP32 - Dev Kit v1</i>	<i>Arduino Uno</i>	<i>ESP8266</i>	<i>LILYGO TTGO LoRa32 V2.1_1.6</i>	<i>STM32MP157D-DK1</i>
Tensão Nível Lógico	3.3 V	5 V	3.3 V	3.3 V	3.3 V
Conectividade	<i>WiFi</i> 2.4 GHz , <i>Bluetooth</i> 4.2	Não Possui! Requer módulo externo	<i>WiFi</i> 2.4 GHz , <i>Bluetooth</i> 4.2	<i>WiFi</i> , <i>Bluetooth</i> 4.2	<i>WiFi</i> 802.11b/g/n / <i>Bluetooth</i> 4.1
Suporte <i>MQTT/ HTTP</i>	Sim	Não	Sim	Sim	Sim
Pinagem	30	14	30	26	20
<i>CPU</i>	<i>Xtensa Dual-Core</i>	<i>ATMega328P</i>	<i>Tensilica L106</i>	X6 de 32 bits <i>ESPRESSIF ESP32</i> 240 MHz	<i>STM32MP157 Arm-based dual Cortex-A7</i> 800
Temperatura de Operação	-40° a 85°C	-40° a 85°C	-40°C a 125°C	-40° a 85°C	-20°C a 105°C
Tensão	-	5 V / 1A	3.3 V / 300mA	5 V / 1 A	5 V / 3 A
Sistema Operacional	Não	Não	Não	Não	Não
Custo	R\$ 60,00	R\$ 50,00	R\$ 38,00	R\$ 125,00	R\$ 345,00

Fonte: Próprio autor

Com base no estudo realizado, o *Arduino Uno* foi considerado a melhor opção para o *hardware* de aquisição e processamento de sinais coletados dos sensores. Atende a todos os critérios estabelecidos para o sistema, incluindo baixo custo e amplo suporte na comunidade acadêmica.

5.1.2 Especificação de *Hardware* de *Gateway* da Solução Proposta

Para elaborar o estudo e especificação de *gateways* para o sistema, foi criada uma tabela de avaliação que inclui as principais características e critérios para o desenvolvimento do sistema. A tabela 5.3 apresenta as características e as plataformas de *gateways* que foram avaliadas neste estudo. A avaliação detalhada das opções disponíveis permitiu a seleção da plataforma mais adequada para o sistema.

Tabela 5.3: Especificação de requisitos de *hardwares* de *Gateways*.

Características	Plataformas
Comunicação <i>UART</i>	<i>Raspberry Pi 4</i>
Conectividade	<i>ESP32 - Dev Kit v1</i>
Suporte aos protocolos <i>MQTT</i> e <i>HTTP</i>	<i>Raspberry Pi zero W</i>
Pinagem	<i>BeagleBone Green Gateway</i>
<i>CPU</i>	<i>Orange pi 5b</i>
Temperatura de Operação	
Tensão / Amperagem	
Sistema Operacional	
Custo	

Fonte: Próprio autor

Os Requisitos e características na pesquisa foram os seguintes:

- **Comunicação *UART*:** Este requisito é crucial para o funcionamento, pois permite a recepção dos dados coletados pelos sensores. O hardware de processamento dos sensores deve transmitir esses dados para o *gateway* por meio de uma conexão *UART*.
- **Conectividade:** A conectividade, conforme definida nos critérios, é referente à capacidade do *gateway* de se comunicar com *WiFi*, seja por meio de integração nativa ou exigindo um módulo externo. Esta comunicação, assume um papel de destaque no contexto do projeto, uma vez que o *hardware* desempenha uma função importante ao transmitir dados para um banco de dados na nuvem.
- **Suporte *MQTT* / *HTTP*:** Este requisito é essencial para o pleno funcionamento do *gateway* no contexto do projeto. Ambos os protocolos são de fundamental importância na troca de informações entre dispositivos IoT e o servidor de dados na nuvem.
- **Pinagem:** A configuração dos pinos é um requisito adicional para esta plataforma. No entanto, destaca-se que, entre os pinos disponíveis, apenas o receptor (*RX* do inglês *receiver*) e transmissor (*TX* do inglês *transmitter*) devem ser utilizados para receber os dados transmitidos pelo *hardware* de processamento de dados dos sensores.
- **CPU:** A *CPU* é um requisito fundamental para o funcionamento adequado do *gateway*. É responsável por executar as operações de processamento necessárias para receber, analisar e transmitir os dados coletados pelos sensores.
- **Temperatura de Operação:** A faixa de temperatura de operação emerge como um elemento crítico na seleção da plataforma de *gateway* para o projeto. Localizado em proximidade ao *hardware* de processamento de dados dos sensores, que, por sua vez, está sujeito às condições ambientais, esta plataforma, deve possuir resistência a uma variedade de condições climáticas. A capacidade de operar de maneira estável em diferentes temperaturas é essencial para assegurar o desempenho consistente do sistema, mesmo em ambientes desafiadores.
- **Tensão / Amperagem:** Os requisitos de tensão e amperagem são fundamentais, pois estão associados à fonte de alimentação do *gateway*. Essa avaliação é essencial para

compreender o consumo de energia e o potencial aquecimento da plataforma. Considerando que o protótipo será portátil e alimentado por baterias, é essencial garantir que a tensão e a amperagem atendam às necessidades operacionais do dispositivo, proporcionando eficiência energética e prolongando a vida útil das baterias.

- **Sistema Operacional:** Este requisito aborda a capacidade do *gateway* de ter um sistema operacional para viabilizar a criação de uma aplicação local, incluindo a gestão de um banco de dados e a implementação de um servidor web.
- **Custo:** Outro requisito de suma importância é o valor do *gateway*, devido a plataforma a ser desenvolvida ter a possibilidade de replicar para operações de piscicultura e os instrumentos multiparâmetros possuem um custo elevado.

A tabela 5.4 apresenta um estudo comparativo das plataformas de *gateway* considerando os critérios definidos para o projeto.

Tabela 5.4: Estudo comparativo de *Gateway*.

Características	Hardware				
	<i>Raspberry Pi 4</i>	<i>ESP32 - Dev Kit v1</i>	<i>Raspberry Pi zero W</i>	<i>BeagleBone Green Gateway</i>	<i>Orange pi 5b</i>
Comunicação <i>UART</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Conectividade	<i>WiFi 2.4 GHz</i> <i>Bluetooth 5.0</i>	<i>WiFi 2.4 GHz</i> , <i>Bluetooth 4.2</i>	<i>WiFi 802.11 b/g/n</i> , <i>Bluetooth 4.1</i>	<i>WiFi 802.11b/g/n</i> <i>Bluetooth 4.1</i>	<i>WiFi</i> , <i>Bluetooth 5.0</i>
Suporte <i>MQTT</i> / <i>HTTP</i>	Sim	Sim	Sim	Sim	Sim
Pinagem	40	30	40	92	26
CPU	<i>Broadcom BCM2711</i> , <i>Cortex-A72</i>	<i>Xtensa Dual-Core LX6</i>	<i>Broadcom BCM2835</i>	<i>AM335x</i> , <i>ARM Cortex-A8</i>	<i>Cortex-A76</i> , <i>Cortex-A55</i>
Temperatura de Operação	0 a 50°C	-40° a 85°C	20 -65°C	0 a 70°C	
Tensão	5VDC 3A		5VDC/2,5A	5V / 500mA	5 V / 4A
Sistema Operacional	Sim! <i>Raspbian</i> , <i>Ubuntu</i> , <i>Fedora</i> entre outros	Não	<i>Raspbian</i> , <i>Ubuntu</i> , <i>Fedora</i> entre outros	<i>Linux</i> , <i>Angstrom</i> , <i>Windows 10</i> <i>IoT Core</i> , <i>Android</i>	<i>Orangepi OS</i> , <i>Debian</i> , <i>Ubuntu</i> , <i>Android</i>
Custo	R\$ 900,00	R\$ 60,00	R\$ 149,90	R\$ 250,00	R\$ 655,00

Fonte: Próprio autor

A análise das plataformas de *gateways* disponíveis no mercado revelou que várias delas atendem aos requisitos do projeto, incluindo conectividade *WiFi*, transmissão de dados para a nuvem, opções de datalogger e suporte aos protocolos *MQTT* e *HTTP* . No entanto, algumas dessas plataformas apresentam custos elevados. Diante desse cenário, optou-se pelo uso do hardware *ESP32* como *gateway*, que atende aos requisitos estabelecidos de forma mais acessível.

5.1.3 Especificação de Requisitos do *Software*

O *software* desenvolvido deve atender a alguns requisitos essenciais, como possuir uma interface intuitiva para o piscicultor. Além disso para gerar a recomendação de alimentação, é necessário que o *software* permita uma interação com o piscicultor.

Este estudo foi realizado com o objetivo de desenvolver um *software* que atenda às necessidades dos piscicultores. A etapa de especificação de requisitos, foi dividida em dois grupos, requisitos funcionais, que são referente às funcionalidades específicas que o sistema deve ser capaz de realizar e requisitos não funcionais, que são os requisitos relacionados ao uso da aplicação

em termos de desempenho, usabilidade, confiabilidade, segurança, dentre outros. Os requisitos funcionais para o *software* do sistema estão distribuídos da seguinte forma:

- **RF01 - Cadastro de usuário:** O sistema deverá permitir que o piscicultor efetue seu cadastro, fornecendo as informações necessárias para identificação e autenticação.
- **RF02 - Login de usuário:** O sistema deverá possuir uma interface que permita ao piscicultor realizar o *login* e acessar as funcionalidades da ferramenta.
- **RF03 – Recuperar senha:** Quando o piscicultor esquecer a senha, o sistema deverá possuir a opção de recuperação de senha.
- **RF04 – Banco de dados:** O sistema deve possuir um banco de dados para a manipulação, cadastro de usuários e recuperação dos dados coletados pelos sensores e dos dados inseridos pelos piscicultores.
- **RF05 – Interface de escolha da espécie:** O sistema deve possuir uma interface que permita ao piscicultor escolher a espécie que deseja visualizar os dados, assim como realizar recomendações de alimentação.
- **RF06 – Interface de visualização dos dados:** O sistema deve disponibilizar ao piscicultor uma interface para visualizar os dados coletados pelos sensores.
- **RF07 – Interface de inserção de dados da espécie:** O sistema deve possuir uma interface que permita ao piscicultor inserir os valores dos parâmetros necessários para a geração da recomendação de alimentação.
- **RF07 – Interface de visualização da recomendação de alimentação:** O sistema deve fornecer uma interface para que o piscicultor possa visualizar a recomendação de alimentação gerada.
- **RF08 – Algoritmos de aprendizado de máquina:** O *software* deve incorporar algoritmos de aprendizado de máquina para realizar a recomendação de alimentação diária.

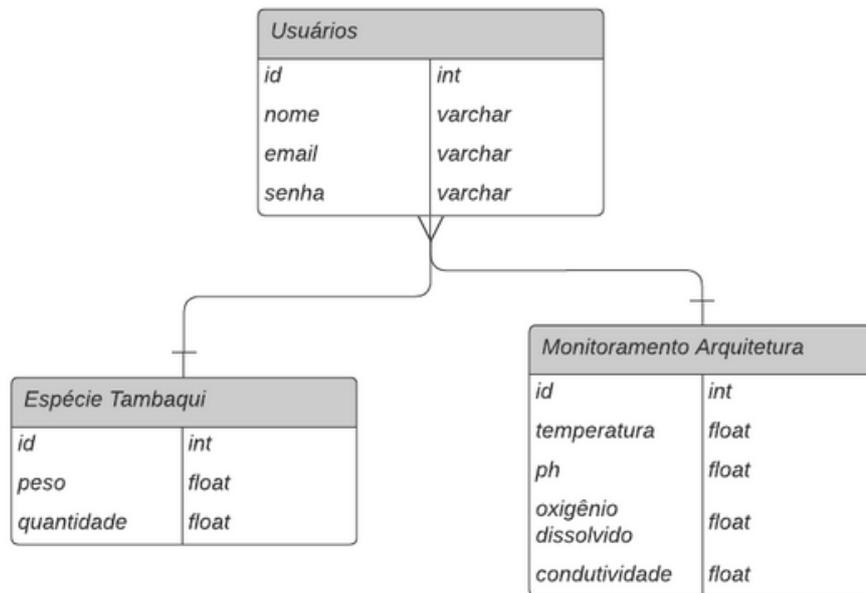
Os requisitos não funcionais para o *software* do sistema estão distribuídos nas seguintes categorias:

- **RNF 01 - Segurança / Proteção:** O sistema deve garantir a segurança e proteção dos dados dos piscicultores e do banco de dados. Isso inclui a implementação de medidas robustas para prevenção de acesso não autorizado e para preservação da integridade das informações.
- **RNF 02 - Usabilidade:** O *software* deve apresentar uma interface simples e autoexplicativa, com todas as funcionalidades otimizadas para proporcionar uma experiência de uso intuitiva aos piscicultores.
- **RNF 04 - Confiabilidade:** O sistema deve garantir confiabilidade em suas operações, minimizando possíveis falhas e interrupções no acesso às funcionalidades.
- **RNF 05 - Desempenho:** O *software* deve ser capaz de processar os dados coletados de forma rápida e eficiente, para garantir que as recomendações de alimentação sejam geradas em tempo hábil.

5.1.4 Modelagem do Banco de Dados da Solução Proposta

Para implementar todas as funcionalidades descritas, como a criação de usuários, recuperação de senha, *login* e demais recursos, foi realizada a modelagem conceitual do banco de dados. A figura 5.2 ilustra essa modelagem.

Figura 5.2: Diagrama de modelagem do banco de dados da ferramenta



Fonte: Próprio autor

A modelagem e implementação do banco de dados foi realizada da seguinte maneira:

- **Entidades:** As entidades criadas na modelagem do banco de dados para a ferramenta desenvolvida foram, distribuídos da seguinte maneira:
 - **Usuários:** Esta entidade representa os usuários do sistema. Cada usuário deve ter um identificador único (ID), um nome de usuário, uma senha e um endereço de e-mail.
 - **Espécie Tambaqui:** A entidade Tambaqui é fundamental no sistema, pois é por meio dela que os dados de peso e quantidade inseridos pelos usuários serão processados.
 - **Monitoramento Arquitetura:** Esta entidade é referente aos dados coletados dos sensores, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica.
- **Atributos:** Os atributos representam as características distintas de cada entidade do sistema. Para a entidade "Usuários", os atributos incluem o ID, nome de usuário, senha e o endereço de e-mail. Para a entidade "Espécie Tambaqui", os atributos selecionados são

o ID, peso e a quantidade de peixes. Já para a entidade "Monitoramento Arquitetura", os atributos incluem o ID, a temperatura, o pH, o oxigênio dissolvido e condutividade elétrica.

5.1.5 Especificação do Banco de Dados

O desenvolvimento do sistema envolveu a utilização de duas plataformas de bancos de dados:

- **Banco de dados sensores:** Armazena os sinais coletados pelos sensores, como pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica.
- **Banco de dados piscicultura:** Armazena os dados inseridos pelo piscicultor, como criação de usuários, peso e quantidade de peixes.

A definição da plataforma de armazenamento de dados para o sistema de monitoramento de parâmetros físico-químicos em sistemas de piscicultura envolveu a realização de pesquisas referente a, Aplicações, exemplos de monitoramento de dados com o *hardware ESP32*, banco de dados em nuvem não relacional, comunicação através de bibliotecas e protocolos.

Dentre as plataformas analisadas para o monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água em sistemas de piscicultura, a InfluxDB foi a plataforma escolhida. A escolha se deu pelos seguintes motivos:

- **Suporte e bibliotecas de comunicação com o ESP32:** A *InfluxDB* possui suporte e bibliotecas de comunicação com diversos microcontroladores, como ESP32 e ESP8266, facilitando a integração com os sensores utilizados no sistema.
- **Versão gratuita:** A plataforma possui uma versão gratuita que foi utilizada para testes, tornando-a acessível para projetos de pesquisa e desenvolvimento.
- **Custo acessível:** A versão paga da plataforma possui um custo acessível para pequenos e médios projetos.
- **Interface de dashboard intuitiva:** A plataforma possui a possibilidade da elaboração de uma interface de *dashboard* intuitiva que facilita a interação com o piscicultor, permitindo a visualização dos dados coletados em tempo real.

Já para manipulação de dados inseridos no software. O sistema utiliza o banco de dados MySQL na plataforma XAMPP para armazenar dados de criação de usuário, login, e dados inseridos pelo piscicultor, como peso e quantidade de peixes. A escolha do MySQL se deu pela sua ampla utilização e compatibilidade com a linguagem PHP, utilizada no back-end do software.

A linguagem PHP permite a execução de algoritmos de aprendizado de máquina localmente através de funções nativas, tornando-a adequada para o desenvolvimento do sistema. A figura 5.3, apresenta o banco de dados definido para armazenamento dos parâmetros.

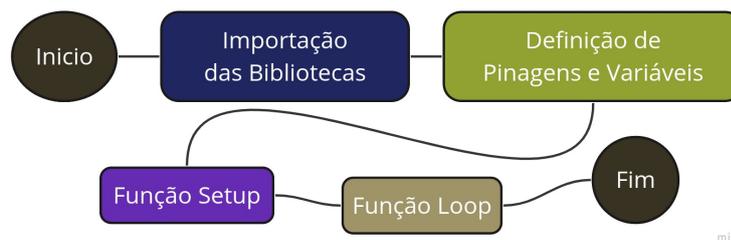
Figura 5.3: Banco de dados definido para armazenamento dos dados mensurados pelos sensores.



Fonte: <https://logowik.com/influxdb-logo-vector-svg-png-free-download-25904.html>

5.1.6 Solução Proposta do *Hardware* de Aquisição e Processamento de Sinais

Figura 5.4: Fluxograma do algoritmo do *hardware* de aquisição e processamento de sinais.



Fonte: Próprio autor

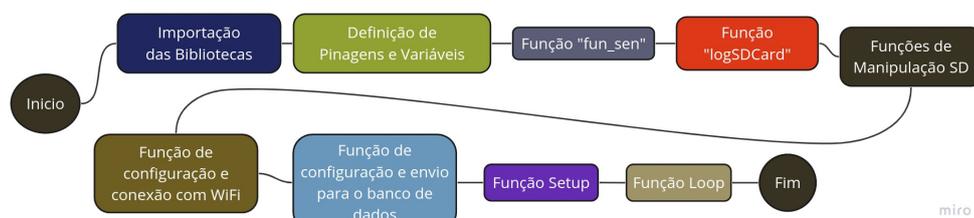
O algoritmo do *hardware* de aquisição e processamento de sinais funciona da seguinte maneira:

- **Importação das Bibliotecas:** O primeiro passo na elaboração do algoritmo do *hardware* de aquisição e processamento de sinais foi a importação das bibliotecas. Foram utilizadas as seguintes bibliotecas:
 - **OneWire:** Esta biblioteca, fornece funções para inicializar o pino do *Arduino Uno* que será usado para se comunicar com o sensor, e para realizar operações básicas de comunicação, como enviar e receber dados.
 - **DallasTemperature:** A biblioteca *DallasTemperature* fornece funções adicionais para gerenciar os sensores *DS18B20*, como ler e escrever dados, e realizar as configurações do sensor.
 - **GravityTDS:** Esta biblioteca é utilizada para medir a condutividade da água usando um sensor total de sólidos dissolvidos (*TDS* do inglês *Total Dissolved Solids*).

- **AtlasGravity:** Esta biblioteca, foi desenvolvida pela *Atlas Scientific* para realizar a leitura de porcentagem de saturação de oxigênio dissolvido.
- **Definição de Pinagens e Variáveis:** O segundo passo na elaboração do algoritmo consiste na definição de variáveis e pinagem dos sensores. As variáveis são necessárias para armazenar os dados coletados pelos sensores. A pinagem define os pinos do *Arduino* que serão usados para se comunicar com os sensores.
- **Função Setup:** Nesta etapa, são realizadas todas as configurações necessárias para o funcionamento dos sensores e da comunicação serial para transmissão dos dados para o *gateway*.
- **Função Loop:** Nesta função foram realizadas as leituras dos sensores, pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica.

5.1.7 Solução Proposta do *Gateway*

Figura 5.5: Fluxograma do algoritmo do *gateway*.



Fonte: Próprio autor

O algoritmo do *gateway* funciona da seguinte maneira:

- **Importação das bibliotecas:** O primeiro passo para desenvolvimento do algoritmo do *gateway*, foi a importação das bibliotecas:
 - **WiFiMulti:** Esta biblioteca gerencia conexões *WiFi* em dispositivos *ESP32/ESP8266*. No algoritmo é utilizada para se conectar à rede *WiFi* definida, permitindo a operação do dispositivo.
 - **InfluxDbClient:** Essa biblioteca realiza a integração do *gateway* com o banco de dados *InfluxDB*, permitindo a escrita de dados coletados de sensores.
 - **InfluxDbCloud:** Esta biblioteca complementa a funcionalidade da biblioteca *InfluxDbClient*, auxiliando na configuração de conexões com o serviço *InfluxDB* na nuvem.
 - **SoftwareSerial:** Biblioteca utilizada para receber dados de sensores via comunicação serial com o *hardware* de aquisição e processamento de sinais.
 - **FS:** Biblioteca utilizada para manipular operações de leitura e escrita em arquivos, como salvar dados coletados dos sensores no cartão de memória.

- **SD:** Esta biblioteca, é utilizada para inicializar e acessar o cartão de memória, possibilitando a escrita de dados coletados no arquivo *data.txt* no cartão de memória.
- **SPI:** Biblioteca Utilizada para fornecer suporte a comunicação de interface periférica serial (*SPI* do inglês *serial peripheral interface*), para operar o cartão de memória.
- **Definição de pinagens e variáveis:** Nesta etapa do algoritmo é definida as variáveis e pinagens de comunicação *UART* RT e TX.
- **Função *funsen*:** Esta função aguarda a chegada de uma mensagem serial enviada pelo *hardware* de aquisição e processamento de sinais, analisa essa mensagem e extrai os valores dos sensores que foram enviados como uma *string*. Em seguida, converte esses valores para *floats* e os armazena em variáveis correspondentes.
- **Função *logSDCard*:** Esta função tem como finalidade escrever os dados lidos dos sensores em um arquivo no cartão de memória. Esta função chama *funsen* para obter os valores dos sensores, formata esses valores em uma *string* e os salva em um arquivo chamado *data.txt* no cartão de memória.
- **Funções de manipulação SD:** Nesta etapa do algoritmo, contém duas funções. *WriteFile* e *appendFile*, são funções auxiliares que lidam com a escrita e a adição de dados no arquivo *data.txt* no cartão de memória.
- **Função de configuração e conexão com *WiFi*:** Esta função é responsável por configurar e estabelecer a conexão *gateway* com *WiFi*.
- **Função de configuração e envio para o banco de dados:** A função *fun-influx* realiza a preparação e envio dos dados dos sensores para o banco de dados *influxDB*.
- **Função *setup*:** Nesta função é inicializada a comunicação serial, o cartão de memória e conexão com *WiFi*.
- **Função *loop*:** No algoritmo a função *loop* inicia as funções *funsen*, *logSDCard* e *fun-influx* para atualizar os dados dos sensores, armazená-los no cartão de memória e enviá-los para o *influxDB*.

5.1.8 Solução Proposta de *Software* para Auxílio no Manejo Alimentar

A arquitetura proposta para monitoramento dos parâmetros, dentre eles, temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade desempenha um papel fundamental no auxílio do manejo alimentar. Os dados de temperatura da água são necessários para gerar a recomendação de quantidade de ração da espécie tambaqui para o piscicultor. Para visualizar os resultados da recomendação de alimentação e de monitoramento, foi desenvolvido um *software*.

O *software* foi projetado com uma interface intuitiva para facilitar a interação entre o piscicultor e o sistema. Ao iniciar, a tela principal é a de *login* de usuário. Caso o piscicultor não possua um cadastro, a ferramenta possui a opção de realizar o cadastro. Por outro lado, se o piscicultor já possui um cadastro, mas esqueceu sua senha, o *software* também disponibiliza a opção de recuperação de senha.

Após realizar o *login* no software, o piscicultor é direcionado para a tela de seleção da espécie de tambaqui, para a qual o sistema foi desenvolvido. Nessa tela, o usuário deve selecionar a

opção desejada e, então, pode visualizar os dados mensurados pelos sensores em tempo real ou solicitar a recomendação de alimentação. Para isso, é necessário inserir algumas informações, como o peso dos peixes e a quantidade total presente no tanque ou viveiro. Esses dados são utilizados como entrada do algoritmo responsável por realizar a recomendação da quantidade diária de ração necessária.

O software do sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação PHP. O desenvolvimento foi realizado no diretório "htdocs" da plataforma *XAMPP*, onde a pasta do projeto foi dividida da seguinte maneira:

- **PHP:** Esta pasta contempla todos os arquivos de front-end e back-end. Os arquivos que esta pasta possui são:
 - **index.php:** Interface principal do sistema, equivalente a interface de *login* do sistema. Responsável por autenticar o piscicultor e permitir o acesso ao sistema.
 - **cadastro_usuario.php:** Interface de cadastro de novos usuários no sistema.
 - **recuperação_senha.php:** Interface para o piscicultor realizar a recuperação de senha.
 - **escolha_especie.php:** Interface onde o usuário pode escolher a espécie de peixe que está sendo criada. No entanto, este sistema se aplica apenas à espécie de tambaqui.
 - **recomendação_alimentação.php:** Interface que apresenta ao usuário uma recomendação de alimentação para a espécie do tambaqui.
 - **visualizacao_dados.php:** Interface onde o usuário pode visualizar os dados coletados pelos sensores.
 - **config.php:** *Script* que tem como finalidade realizar a configuração com o banco de dados local *MySQL*.
 - **login.php:** *Script* que contempla a lógica para autenticação de usuário do sistema.
 - **cadastrar.php** *Script* que contempla a lógica para cadastrar novo usuário no sistema.
 - **recuperar_senha.php:** *Script* que contempla a lógica para o piscicultor recuperar a senha através do e-mail.
 - **recomendar.php:** *Script* que contempla a lógica de enviar os dados de peso e quantidade de ração para o banco de dados local e executar o script python que contempla o algoritmo de aprendizado de máquina.
 - **visualisar.php:** *Script* que contém a lógica de executar o script python de recuperação dos valores dos sensores e encaminhar para a interface *visualização_dados.php*.
- **CSS:** Esta pasta contém o arquivo de estilo de todas as páginas do sistema
- **IMG:** Esta pasta contém as imagens utilizadas no sistema.
- **PAYTHON:** Esta pasta contempla todos os algoritmos de aprendizado de máquina, árvore de decisão, floresta randômica, *KNN* dentre outros. Também contém as bases de dados elaboradas para o treinamento dos algoritmos.

5.1.9 Algoritmos de Aprendizado de Máquina

Para realizar a recomendação da quantidade diária de ração da espécie tambaqui. É necessário algumas informações inseridas pelo piscicultor, como, peso e quantidade dos alevinos no viveiro, outra informação relevante é a temperatura da água. Essas informações são fundamentais para o algoritmo de aprendizado de máquina, foram realizadas pesquisas para elaboração de duas bases de dados para treinamento dos algoritmos.

A primeira base de dados consiste na relação entre o peso do peixe e a taxa de alimentação, conforme o manual de criação do tambaqui [Corrêa et al. \[2018\]](#). Esta foi elaborada com base na tabela 5.5, que apresenta informações sobre o manejo alimentar adequado para a criação do tambaqui. A segunda base de dados foi elaborada com as informações de temperatura, conforme [Amanajás and Val \[2023\]](#), menciona que a porcentagem da quantidade de ração da espécie tambaqui varia de acordo com a temperatura da água.

Tabela 5.5: Manejo alimentar sugerido para criação do tambaqui

Fase	Peso médio (g)	Ração (PB%)	Tamanho do grânulo (mm)	Taxa de Alimentação por dia (% peso vivo)	Número de Refeições (vezes / dia)
Alevinagem	0,5–7,0	55	Farelada/pó	20,0–10,0	6
Recria	I 7,0–25,0	40	1-2	7,7–6,4	4
	II 25,0–70,0	40	2-4	5,9–4,6	4
	III 70,0–188,0	32	4-6	4,2–2,7	4
	IV 188,0–298,0	28	8	2,6–2,2	4
Engorda	I 298,0–530,0	28	8	2,1–1,8	3
	II 530,0–1000,0	28	8	1,7–1,2	2
	III 1000,0–2500,0	28	10	1,0–0,8	2

Fonte: [Corrêa et al. \[2018\]](#)

A recomendação da quantidade diária de ração é uma tarefa importante para a piscicultura, pois garante o desenvolvimento adequado dos animais. Para realizar esta tarefa, foram elaborados diversos algoritmos de aprendizado de máquina de regressão na linguagem de programação python para avaliar qual se adequa para a aplicação. Os algoritmos que obtiveram os melhores valores de coeficiente de determinação e menor erro médio absoluto foram o de árvore de decisão e o de floresta randômica. A figura 5.6 apresenta o diagrama dos algoritmos.

Os algoritmos funcionam da seguinte maneira:

- **Importação das bibliotecas:** A primeira etapa na elaboração dos algoritmos envolve a importação das bibliotecas necessárias para aprendizado de máquina e manipulação de bancos de dados. Para este projeto, foram utilizadas as seguintes bibliotecas:
 - **Scikit-learn:** Biblioteca da linguagem *Python* desenvolvida especificamente para aplicações práticas de aprendizagem de máquina.
 - **Pandas:** Biblioteca de *software* criada para a linguagem *Python* para manipulação e análise de dados.
 - **Influx Client:** Biblioteca de acesso ao banco de dados *InfluxDB*.

Figura 5.6: Fluxograma dos algoritmos de aprendizado de máquina.



Fonte: Próprio autor

– *MySQL Connector*: Biblioteca de acesso ao banco de dados *MySQL*.

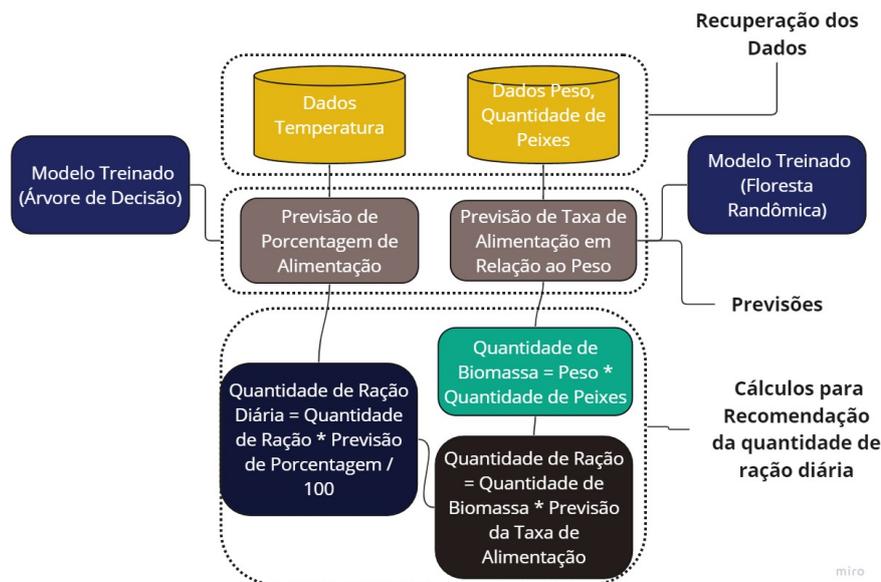
- **Importação da base de dados:** A segunda etapa nos algoritmos, consiste na importação da base de dados que será utilizada para treinar os modelos. Essa importação é realizada através da biblioteca *pandas*, que fornece um conjunto de funções e métodos para leitura e manipulação de conjuntos de dados.
- **Separação dos dados em treino e teste:** Após a importação da base de dados, é necessário dividi-la em dois conjuntos separados, um conjunto de treinamento e um conjunto de teste. O conjunto de treinamento é utilizado para treinar o modelo, enquanto o conjunto de teste é utilizado para avaliar a capacidade do modelo de generalizar os padrões aprendidos durante o treinamento. Neste trabalho, foi utilizada a proporção de 80% para treinamento e 20% para teste.
- **Treino do modelo de aprendizado:** Nesta etapa, os algoritmos de aprendizado de máquina foram aplicados aos dados de treinamento para que o modelo aprendesse a reconhecer padrões e fazer previsões. O treinamento do modelo envolve a otimização dos parâmetros e a busca pela melhor configuração para alcançar um bom desempenho.
- **Previsão de dados de teste:** Após o treinamento do modelo, foi realizada a etapa de previsão dos dados de teste, a fim de avaliar a capacidade de generalização do modelo. Nessa etapa, os dados de teste que não foram utilizados durante o treinamento, foram fornecidos ao modelo, e suas previsões foram comparadas com os valores reais correspondentes.

- **Avaliação dos algoritmos:** A avaliação dos algoritmos foi realizada com base nas seguintes métricas de desempenho:
 - **Erro médio quadrático (*MSE* do inglês *Mean squared error*):** Esta métrica, mede a distância quadrática média entre as previsões do modelo e os valores reais.
 - **Coefficiente de determinação (R^2 do inglês *coefficient of determination*):** Esta métrica, mede a proporção da variância dos dados que é explicada pelo modelo.
 - **Erro absoluto médio (*MAE* do inglês *Mean absolute error*):** Esta métrica, mede a diferença média entre as previsões do modelo e os valores reais.

5.1.10 Solução Proposta para Cálculo de Recomendação de Alimentação.

Com os algoritmos elaborados, foi realizada as previsões para implementação nos cálculos de recomendação da quantidade diária de ração da espécie tambaqui. A figura 5.7 apresenta o diagrama desta etapa.

Figura 5.7: Diagrama de funcionamento das previsões e cálculos para recomendação da quantidade de ração diária para espécie Tambaqui



A recomendação de quantidade diária de ração funciona da seguinte maneira:

- **Recuperação dos dados:** A recuperação de dados é uma etapa fundamental para realizar previsões e calcular recomendações de quantidade de ração. Os dados de temperatura da água são obtidos a partir do banco de dados *influxDB*, que são coletados por meio de um sensor de temperatura conectado a CPU e *gateway*. Os dados de peso e quantidade de peixes são obtidos a partir do formulário do software de interação com piscicultor.

- **Modelos de aprendizado de máquina treinados:** Os modelos de árvore de decisão e floresta randômica treinados são utilizados para fazer previsões com base em diferentes conjuntos de dados. Cada modelo tem sua própria entrada de dados específica para gerar as previsões desejadas. O modelo de Árvore de Decisão, ele recebe os dados de temperatura provenientes do banco de dados *InfluxDB*. O objetivo desse modelo é prever a porcentagem da quantidade de ração adequada com base na temperatura da água. Já o modelo de floresta randômica recebe dados provenientes de um formulário de interação com piscicultor. É necessário inserir informações como peso e quantidade de peixes no viveiro ou tanque, visando prever a taxa de alimentação, e calcular a quantidade de biomassa.
- **Previsões:** Após a recuperação dos dados de temperatura da água do banco de dados *influxDB*, dos dados de peso e quantidade de peixes do formulário do software, as previsões são realizadas nos algoritmos de árvore de decisão e floresta randômica. Estes algoritmos desempenham um papel fundamental na previsão de duas informações relevantes:
 - **Porcentagem da quantidade de ração:** Com base no valor da temperatura da água. O modelo de árvore de decisão prevê a porcentagem de alimentação adequada para os peixes.
 - **Taxa de alimentação:** Com base no peso dos peixes, o modelo de floresta randômica prevê a taxa de alimentação adequada para os peixes.

Essas previsões são essenciais para auxiliar no gerenciamento adequado da alimentação dos peixes, garantindo sua saúde e crescimento adequado

- **Cálculos para recomendação da quantidade de ração diária:** Após a previsão da porcentagem de alimentação e taxa de alimentação, são realizados cálculos para fornecer a recomendação da quantidade de ração. Conforme [Corrêa et al. \[2018\]](#) menciona, a equação 5.1.10 ilustra como o valor da quantidade de biomassa é calculado no algoritmo. O peso do alevino é multiplicado pela quantidade de peixes, sendo que ambos os dados são inseridos pelo piscicultor no *software*.

$$Qtd\ de\ Biomassa = Peso \times Qtd\ de\ Peixes \quad (5.1)$$

Outra informação de fundamental importância para a recomendação da quantidade de ração da espécie tambaqui é o cálculo da quantidade de ração, desconsiderando a temperatura da água. conforme [Corrêa et al. \[2018\]](#) menciona, a equação 5.1.10 ilustra como o valor da quantidade de ração é calculado no algoritmo. O resultado do cálculo anterior, ou seja, a quantidade de biomassa multiplicada pelo valor previsto no algoritmo de floresta randômica, representa a taxa de alimentação.

$$Qtd\ de\ Ração = Qtd\ de\ Biom. \times Tx\ Alimentação \quad (5.2)$$

Por fim a equação 5.1.10 ilustra como calcular a quantidade de ração considerando a temperatura da água, multiplicando a quantidade de ração pelo valor previsto de porcentagem de alimentação.

$$Qtd\ de\ Ração\ Diária = Qtd\ de\ Ração \times Porcentagem \quad (5.3)$$

Para gerar previsões e recomendações da quantidade de ração necessária, o piscicultor deve garantir o correto funcionamento da infraestrutura de hardware responsável pela medição da temperatura da água. Além disso, é necessário criar um *login* no *software*, selecionar a espécie de peixe, como o tambaqui, e inserir informações como o peso e o número de peixes. Ao clicar no botão "Gerar Recomendação", o sistema fornecerá as recomendações necessárias.

5.2 Considerações sobre o Capítulo

Neste capítulo, foi descrito a solução geral proposta para realizar o monitoramento dos parâmetros, dentre eles, pH, temperatura,, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica, e recomendação da alimentação para as operações de Piscicultura. Para realizar o monitoramento é composto por um *hardware*, que utiliza protocolos de comunicação *IoT*, para realizar a coleta dos dados e disponibilizar estes para o piscicultor na nuvem. No entanto para a recomendação de alimentação, foi desenvolvido um *software* com sistema de acesso, onde é aplicado o algoritmo de aprendizado de máquina para automatizar o processo de recomendação de alimentação. A integração do *hardware* com o *software* permite que os dados coletados sejam processados e analisados em tempo real, gerando recomendações precisas e personalizadas para o piscicultor.

Capítulo 6

Resultados Obtidos

Este capítulo apresenta os resultados do AquaFeed, sistema de monitoramento dos parâmetros físico-químicos e auxílio no manejo alimentar, enfatizando o funcionamento, os testes laboratoriais, calibração dos sensores, testes em campo e a avaliação dos algoritmos com métodos de classificação e regressão.

O *dashboard* e o *software* são componentes essenciais do AquaFeed, pois fornecem uma interface intuitiva para que o piscicultor visualize os dados coletados. A seguir, serão apresentadas as principais funcionalidades do *dashboard* e do *software*, incluindo a exibição dos parâmetros e a quantidade de ração recomendada diariamente nas operações de piscicultura.

Serão detalhados os resultados das avaliações dos algoritmos de aprendizado de máquina utilizados no sistema. Os resultados do artigo gerado na primeira etapa deste trabalho, com métodos de classificação aplicados para recomendar a porcentagem de alimentação em relação à temperatura da água da espécie tilápia, e os resultados gerados na segunda parte desta pesquisa, os métodos de regressão utilizados para gerar a recomendação da quantidade diária de ração para a espécie tambaqui.

Este capítulo proporcionará uma visão abrangente dos resultados alcançados com o AquaFeed.

6.1 Desenvolvimento da Aplicação para Monitoramento

O sistema é composto por um protótipo que contém o *hardware* que processa os dados coletados através dos sensores de pH, temperatura, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica e um *hardware* com funcionalidade de *gateway*. Para que o piscicultor tenha acesso aos valores medidos, é necessário implementar um banco de dados em nuvem com uma plataforma para visualização dos dados.

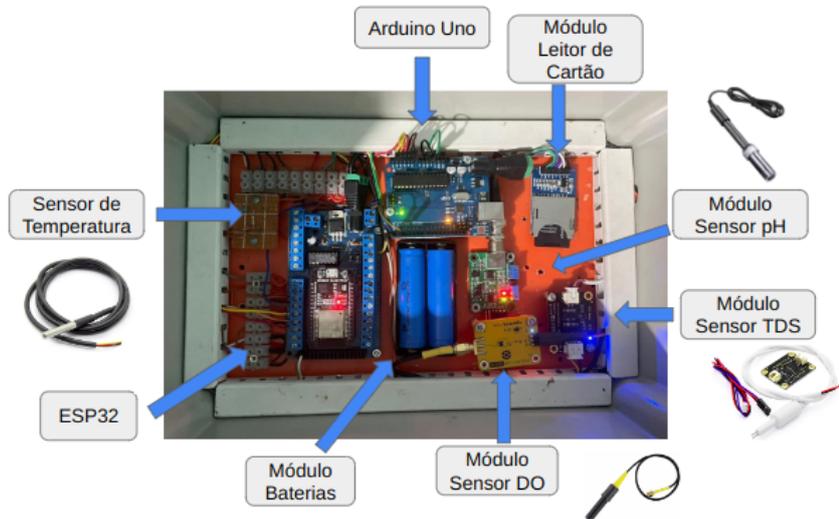
Nesta seção, serão apresentados os principais componentes do protótipo desenvolvido, sensores, plataforma de visualização de dados em nuvem e *datalogger* para gravação de dados localmente através de cartão de memória.

6.1.1 Protótipo para Monitoramento e Gravação dos Dados

O protótipo desenvolvido tem como objetivo realizar as funcionalidades de monitoramento e gravação de dados. É composto por sensores de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condu-

tividade, *hardware* de processamento de dados, *gateway* e *datalogger*. A figura 6.1 apresenta a imagem do protótipo montado.

Figura 6.1: Protótipo para monitoramento e gravação de dados.



Fonte: Próprio autor

- **Microcontrolador *ESP32*:** Conforme os requisitos definidos na seção 5.1.2, foi definido o *ESP32* como o *gateway*. Este microcontrolador utilizado para implementação do projeto possui um módulo de comunicação *WiFi*, que permite que qualquer sensor ou outro dispositivo possa se comunicar a internet Conforme Andrade et al. [2022] este dispositivo, é uma solução de sistema em um chip (*SoC* do inglês System-on-a-Chip), sistemas eletrônicos em um circuito integrado. A figura 6.2 ilustra um microcontrolador *ESP32*.

Figura 6.2: Microcontrolador *ESP32*.



FilipeFlop [2024]

- ***Arduino Uno*:** O *hardware* de aquisição e processamento de sinais dos sensores definido, foi o *Arduino UNO* de acordo com os requisitos mencionados no capítulo 5, subseção 5.1.1. O dispositivo é um *hardware* para prototipagem eletrônica que, neste projeto, foi utilizado para coletar dados dos sensores de temperatura, pH, oxigênio dissolvido e condutividade elétrica. Outra funcionalidade deste dispositivo é realizar o envio dos sinais dos sensores para o *gateway* através de comunicação *UART*. A figura 6.3 ilustra um *Arduino Uno*.

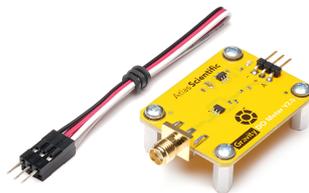
Figura 6.3: Microcontrolador *Arduino Uno*Fonte: [STA Eletrônica](#)

- **Módulo leitor cartão de memória:** No desenvolvimento de um datalogger para gravação dos dados coletados dos sensores foi utilizado um módulo de cartão de memória. Este módulo possui suporte para os formatos *FAT16* e *FAT32*, pode ser ligado em tensão de 3,3 V ou 5 V e utiliza a interface SPI para comunicação (pinos *MOSI*, *SCK*, *MISO* e *CS*). A figura 1 apresenta uma imagem do módulo.

Figura 6.4: Módulo leitor cartão de memória

Fonte: [Smart Projects](#)

- **Sensor de oxigênio dissolvido:** O sensor utilizado neste projeto foi o *Gravity Analog Dissolved Oxygen Meter* da fabricante *Atlas Scientific*. Este sensor tem como objetivo realizar a leitura de um dos parâmetros mais importantes na atividade de piscicultura. No entanto, embora o oxigênio dissolvido seja uma medida complexa, nem sempre precisa ser medida em mg/l. Este sensor realiza as medições para identificar a presença de oxigênio em porcentagem de saturação. A figura 6.5 apresenta o sensor.

Figura 6.5: Sensor de oxigênio dissolvido *Atlas Scientific*Fonte: [Atlas Scientific](#)

- **Sensor de pH:** Para a elaboração deste trabalho, foi utilizado o módulo sensor de pH *PH4502C* (figura 6.6). Este módulo possui uma conexão BNC com a sonda detectora de pH. Sua principal função é amplificar os sinais da sonda e enviar os dados coletados para o hardware de coleta e processamento de dados. O módulo possui dois trimpots integrados na placa, cada um com uma função diferente. O primeiro trimpot é utilizado para ajustar a saída digital conforme o limite de pH desejado. O segundo trimpot é utilizado para calibrar a sonda de pH de acordo com a solução de calibração.

Figura 6.6: Sensor de pH 4502c

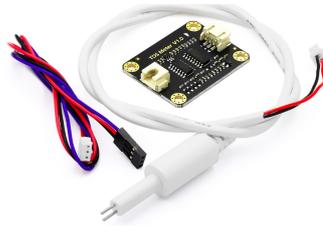
Fonte: [Usinainfo](#)

- **Sensor de temperatura:** O sensor utilizado neste trabalho, foi o *DS18B20*. Este sensor pode ser aplicado em diversos ambientes, como em locais úmidos, uma das principais funcionalidades é a possibilidade de realizar as medições ele estando submerso na água. O mesmo é produzido em material aço inox, com o cabo revestido em material isolante, para não ocorrer nenhum dano decorrente da umidade. Por isso, outro diferencial neste sensor é de possuir capacidade de possibilitar leituras com resolução entre 9 a 12-bit. A figura 6.8 apresenta o sensor de temperatura prova d'água.

Figura 6.7: Sensor de temperatura *DS18B20*Fonte: [Eletrogate](#)

- **Sensor de condutividade elétrica:** Para realizar o monitoramento da condutividade elétrica da água foi utilizado o sensor TDS (Sólido totais dissolvidos). Este sensor apresenta uma sonda impermeável que pode ser submersa na água, permitindo que seus eletrodos consigam medir a condutividade em determinado local. Vale destacar que as sondas não podem ser utilizadas em água com temperaturas maiores que 55°C.

Figura 6.8: Sensor de condutividade elétrica

Fonte: [Usinainfo TDS](#)

6.1.2 Dashboard do Banco de Dados na Nuvem

A visualização dos dados pode ser realizada de duas maneiras. A primeira através do *dashboard* apresentado na figura 6.9. Este *dashboard*, foi elaborado na plataforma *influxDB*, que além de ser um banco de dados, esta ferramenta possui uma interface de usuário que permite a visualização dos dados coletados pelos sensores. A outra maneira de visualizar os dados e através do software desenvolvido, apresentado na figura 6.29.

Figura 6.9: *Dashboard* para visualização dos dados de temperatura, pH, condutividade elétrica e oxigênio dissolvido.



Fonte: Próprio autor

Para acessar a ferramenta, o piscicultor deve informar um endereço de e-mail e uma senha. Após o *login*, deve selecionar a aba "*Dashboard*", onde serão exibidos os valores dos parâmetros.

Em caso de falta de acesso à internet, o gateway possui um *datalogger* local para registrar os dados coletados pelos sensores. A figura 6.10 apresenta o monitor serial da IDE do *Arduino*, onde é possível observar que os dados são salvos em um arquivo *data.txt*.

Figura 6.10: Monitor serial da IDE do *Ardino*.

```

Appending to file: /data.txt
Message appended
Writing: measurements,device=ESP32,SSID=Saraiva_2.4 Ph4502c=4.12,ST100=-5.00,D0=202.15,Temperatura=28.94,Condutividade=12.00

Delay 10s
Message Received: 3.99|-5|200.66|28.94|12
4.15|-5|199.79|28.94|12
4.10|-5|198.27|28.94|8
3.96|-5|198.25|28.94|8
4.12|-5|198.43|28.94|8
4.10|-5|198.01|28.94|8
3.96|-5|198.11|28.94|8
3.96|-5|199.65|28.94|12

Message Received: 4.04|-5|199.01|28.94|12

Save data: 3.91,199.05,28.94,8.00

Appending to file: /data.txt
Message appended
Writing: measurements,device=ESP32,SSID=Saraiva_2.4 Ph4502c=3.91,ST100=-5.00,D0=199.05,Temperatura=28.94,Condutividade=8.00

```

Fonte: Próprio autor

Para visualizar os dados no arquivo "dada.txt", o piscicultor deve retirar o cartão de memória do módulo que fica no protótipo. A figura 6.11 apresenta a imagem do arquivo data.txt.

Figura 6.11: Arquivo data.txt

```

pH, oxigenio dissolvido, temperatura, condutividade
0.00,0.00,0.00,0.00
3.91,205.51,28.94,8.00
3.91,203.29,28.94,8.00
3.91,202.73,28.94,8.00
3.93,201.99,28.94,8.00
3.93,202.28,29.00,8.00
3.93,201.18,29.00,8.00

```

Fonte: Próprio autor

6.2 Calibração e Testes dos Sensores em Laboratório

Os sensores utilizados na plataforma de monitoramento desenvolvida foram submetidos a calibração e testes laboratoriais para avaliar seu desempenho. Cada sensor foi submetido a um método de avaliação específico. Os resultados dos testes forneceram informações importantes para o aprimoramento do sistema de monitoramento, pois possibilitaram a identificação de problemas ou limitações dos sensores.

6.2.1 Teste Sensor de Temperatura

Para avaliar a capacidade do sensor *DS18B20* de acompanhar mudanças de temperatura, foram realizados testes em uma câmara de choque térmico no laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação em Microeletrônica. O teste consistiu em simular variações de temperatura de 30°C a 70°C, variando a cada 5°C. No setup do teste foi posicionado o sensor de temperatura com o termopar para acompanhar a variação de potencial.

A figura 6.12 ilustra o ensaio realizado na câmara de choque térmico, apresentando os seguintes elementos. O item 1 apresenta o posicionamento do protótipo, do multímetro e do

computador, o item 2 apresenta uma visão detalhada do multímetro, o item 3 apresenta o multímetro no início do teste. Já o item 4 apresenta a tela de configuração de temperatura da câmara climática, bem como o monitoramento do valor de temperatura após o início do teste. Por fim, o item 5 demonstra o posicionamento do termopar e do sensor de temperatura.

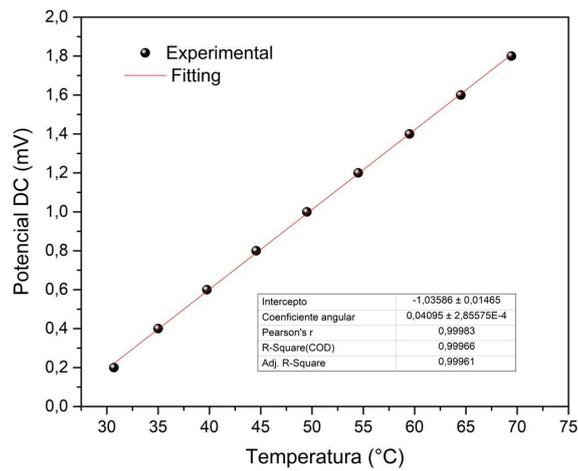
Figura 6.12: *Setup* e posicionamento dos sensores na camara climática



Fonte: Próprio autor

Durante a execução do teste, observou-se que o sensor conseguiu responder às variações de temperatura impostas pela câmara de choque térmico. Suas leituras foram coerentes e alinhadas com os valores esperados conforme os ajustes realizados na câmara. A figura 6.13 apresenta o resultado do teste no sensor de temperatura.

Figura 6.13: Resultados teste no sensor de temperatura



Fonte: Próprio autor

O teste foi essencial para verificar a confiabilidade do sensor de temperatura, garantindo que ele seja capaz de fornecer medições e acompanhar mudanças de temperatura. A relação entre a temperatura e o potencial de saída de um sensor é representada graficamente pela curva de calibração. Um comportamento linear na curva de calibração é desejável porque indica que o sensor responde de forma consistente e proporcional às mudanças na temperatura.

6.2.2 Calibração e Testes do Sensor de Condutividade Elétrica

A calibração do sensor de condutividade elétrica foi realizada no laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação de Microeletrônica, utilizando a solução de calibração de condutividade 84 uS/cm. O processo de calibração foi realizado conforme descrito na figura 6.14.

Na figura 6.14, à esquerda, pode-se observar a solução de calibração 84 uS/cm. À direita, está o protótipo do sensor, conectado à placa de desenvolvimento *Arduino*.

Figura 6.14: Calibração Sensor TDS



Fonte: Próprio autor

O processo de calibração foi realizado da seguinte forma:

- O sensor foi imerso na solução de calibração.
- O valor da condutividade da solução foi medido pelo sensor.
- O valor medido foi comparado com o valor conhecido da solução.
- O valor medido foi utilizado para ajustar o valor da constante de célula do sensor.

Após a calibração, o sensor foi verificado para garantir que estava fornecendo resultados precisos. Para isso, foram realizadas novas medições na solução de calibração.

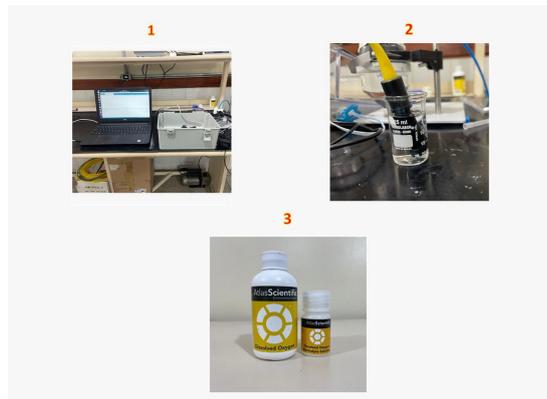
6.2.3 Calibração e Testes do Sensor de Oxigênio Dissolvido

A calibração do sensor de oxigênio dissolvido foi realizada no laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação de Microeletrônica em duas etapas. Na primeira etapa, o sensor foi calibrado em ambiente, que corresponde a uma porcentagem de saturação de 100%. Na segunda etapa, ele foi calibrado com uma solução de oxigênio zero, fornecida pelo fabricante, *Atlas Scientific*.

A calibração é uma etapa essencial para garantir a precisão e a confiabilidade das medições do sensor. Ela permite que o sensor seja ajustado para que suas leituras correspondam aos valores reais da concentração de oxigênio dissolvido na amostra.

A figura 6.15 detalha o processo de calibração do sensor de oxigênio dissolvido. O item 1, apresenta o sistema posicionado durante o processo de calibração. No item 2, o sensor é submerso na solução padrão 0 de oxigênio, fornecida pela *Atlas Scientific*. Essa solução possui um valor conhecido de oxigênio dissolvido e é essencial para a calibração. Ao submergir o sensor nessa solução, ele é exposto a um ambiente com um valor conhecido e estável de oxigênio dissolvido. O item 3, apresenta a solução de calibração.

Figura 6.15: Calibração do sensor de oxigênio dissolvido



Fonte: Próprio autor

A calibração do sensor de oxigênio dissolvido é realizada submetendo-o a uma solução de oxigênio zero. Os valores resultantes são acompanhados no monitor serial da *IDE Arduino* até que a leitura se estabilize em 0. A figura 6.16 apresenta os resultados dessa calibração.

Figura 6.16: Resultado de calibração do sensor de oxigênio dissolvido

1		2		3	
Output	Serial Monitor x	Output	Serial Monitor x	Output	Serial Monitor x
	Message (Enter to send message to 'Arduino Uno')		Message (Enter to send message to 'Arduino Uno')		Message (Enter to send message to 'Arduino Uno')
35.58		83.85		57.86	
35.57		83.54		57.83	
35.56		83.36		57.70	
35.61		83.21		57.74	
35.57		83.05		57.70	
35.55		82.95		57.70	
35.56		82.93		57.71	
35.56		82.82		57.64	
35.52		82.69		57.71	
35.52		82.42		57.65	
35.56				57.71	
35.61				57.70	
35.59				57.63	
35.59				57.70	
35.56				57.67	
35.61				57.61	
35.62				57.68	
35.58				57.61	
35.58				57.59	
35.59				57.56	
35.62				57.55	
35.60				57.62	
35.59				57.56	
35.59				57.54	
35.61				57.53	
35.61				57.51	
35.60				57.56	

Fonte: Próprio autor

A Figura 6.16 apresenta os valores registrados pelo sensor de oxigênio dissolvido durante o processo de calibração. O item 1 mostra os valores obtidos quando a concentração de oxigênio era de aproximadamente 35%. O item 2 exibe os valores obtidos quando a concentração de oxigênio era de aproximadamente 85%. O item 3 apresenta os valores obtidos quando a concentração de oxigênio era de aproximadamente 57%.

Essa representação gráfica permite visualizar a resposta do sensor a diferentes concentrações de oxigênio. O monitoramento desses valores é necessário para estabelecer a curva de calibração correta, que garante a precisão e confiabilidade das leituras do sensor em amostras reais.

6.2.4 Calibração e Testes do Sensor de pH

A calibração do sensor de pH foi realizada no laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação de Microeletrônica, utilizando soluções de calibração em três faixas de pH distintas: pH 4, 7 e 10. O sensor possui um módulo ajustável que permite a regulagem da tensão de entrada. Após a configuração da tensão, o sensor é imerso nas soluções de calibração e as leituras são realizadas.

A figura 6.17 apresenta o procedimento empregado para a calibração do sensor de pH. No item 1 da figura, é possível observar o sensor de pH imerso em uma das soluções de calibração, bem como as outras duas soluções utilizadas para esse fim. O item 2 representa os valores já medidos, apresentados no monitor serial do *Arduino Uno*, que permitem a verificação dos resultados obtidos pelos sensores conforme as diferentes soluções de calibração.

Figura 6.17: Calibração do sensor de pH

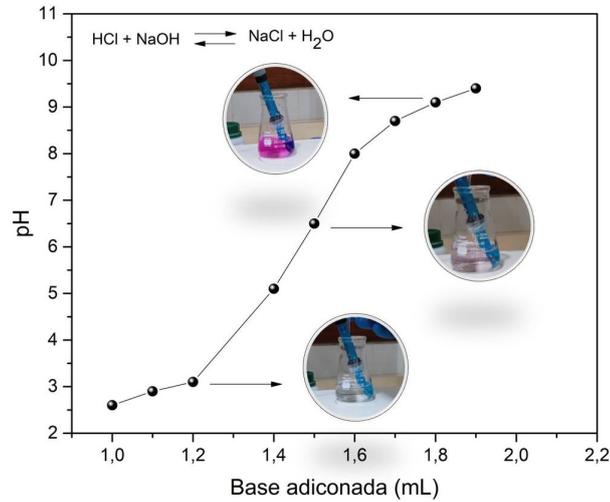


Fonte: Próprio autor

Após a calibração do sensor de pH, foi realizado um ensaio químico em laboratório para validação da calibração. Para avaliar o comportamento do sensor em mudanças bruscas de pH, foi realizada uma titulação ácido-base tradicional com ácido clorídrico (titulado) e hidróxido de sódio (titulante). O acompanhamento da titulação foi realizado por meio de indicador de fenolftaleína e do sensor de pH. A figura 6.18 apresenta o resultado do teste em laboratório do sensor de pH.

Os resultados permitiram a construção de uma curva de titulação com os valores de pH obtidos. As mudanças de coloração observadas indicaram que o sensor de pH está adequado para operar em condições de pH local.

Figura 6.18: Resultado do ensaio de titulação química do sensor de pH



Fonte: Próprio autor

6.3 Aprendizado de Máquina para Classificação da Porcentagem de Alimentação da Espécie Tilápia

A primeira parte deste trabalho, foi realizada para espécie da tilápia. O objetivo era realizar a classificação da porcentagem de alimentação com base na temperatura da água.

Conforme [Homem and Ufes \[2020\]](#) menciona, a aprendizagem de máquina é uma das áreas da inteligência artificial que fornece ao computador a habilidade de aprender uma determinada tarefa dada uma base de dados. A técnica possui algumas tarefas, dentre elas, classificação, regressão, agrupamento, associação, prognósticos e geração.

Para a previsão da porcentagem de alimentação da tilápia, foi implementada uma solução de aprendizado de máquina utilizando a plataforma *Orange Data Mining*, com comunicação entre o microcontrolador *ESP32* e o banco de dados *MySQL*.

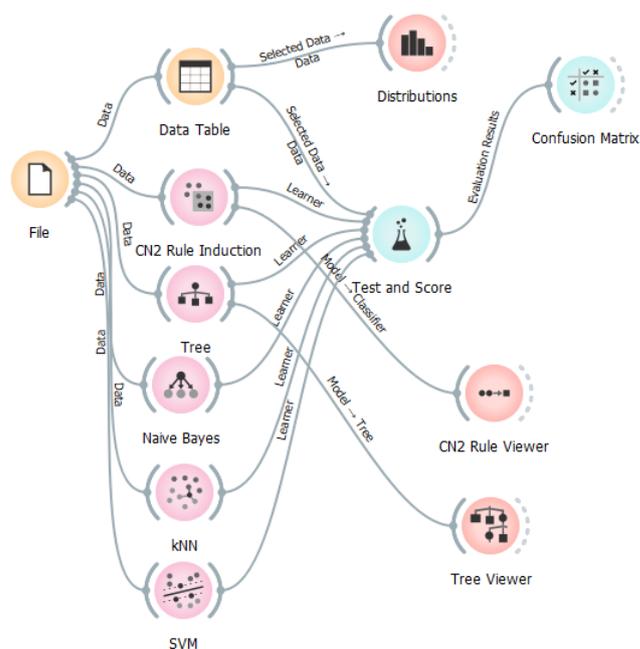
A base de dados com 1131 registros elaborada neste trabalho foi construída a partir da coleção [SENAR \[2019\]](#), que apresenta a tabela 6.1 com o percentual de alimentação adequada em relação à temperatura da água para a espécie de tilápia. Com base nessas informações, foi implementada a técnica de aprendizado de máquina supervisionado de classificação.

Tabela 6.1: Percentual de alimentação.

Percentual de alimentação em função da temperatura da água					
Menos de 16 °C	16 a 19 °C	20 a 24 °C	25 a 29 °C	30 a 32 °C	Mais de 32 °C
Não fornecer	60%	80%	100%	80%	Não fornecer

Para a previsão da porcentagem de alimentação da espécie tilápia, foram treinados cinco modelos de aprendizado de máquina supervisionado de classificação: CN2, árvore de decisão, *naive bayes*, KNN e SVM. Os modelos são apresentados na Figura 6.19. O treinamento dos modelos foi realizado na ferramenta *Orange Data Mining*.

Figura 6.19: Modelos de aprendizado de máquina CN2, *tree*, *naive bayes*, KNN, e SVM.



Fonte: Próprio autor

6.3.1 Avaliação de Acurácia dos Algoritmos de classificação

Após a conclusão dos treinamentos, validações e testes dos modelos, foi necessário avaliar a eficácia de cada um deles. Para isso, foram utilizadas métricas como a acurácia e matriz de confusão. Na tabela 6.2, é possível observar os resultados obtidos para cada modelo, em relação à acurácia. Dentre os valores desta métrica é possível notar que o algoritmo que obteve melhor avaliação foi o de árvore de decisão, já o que obteve menor valor foi o *naive bayes*.

Tabela 6.2: Avaliação de acurácia dos modelos de aprendizado de máquina

Modelo	Acurácia
KNN (K-vizinhos mais próximos)	0.993
Árvore de decisão	0.998
SVM (Máquina de Vetores de Suporte)	0.959
<i>Naive bayes</i>	0.766
CN2	0.995

Outra técnica utilizada para analisar o desempenho dos algoritmos foi a de validação cruzada em 10. Santos et al. [2019] afirma que esta técnica consiste na divisão aleatória do banco de treinamento em que partes de tamanhos iguais, em que k-1 irá compor os dados de treinamento para o ajuste de modelos, e a outra parte ficará reservada para a estimativa de sua performance. A tabela 6.3 apresenta os valores de acurácia de cada modelo treinado com a técnica de validação cruzada implementada.

Tabela 6.3: Avaliação de acurácia com validação cruzada dos modelos treinados.

Modelo	Acurácia
KNN (K-vizinhos mais próximos)	0.996
Árvore de decisão	0.997
SVM (Máquina de vetores de suporte)	0.971
<i>Naive bayes</i>	0.748
CN2	0.996

Os resultados sem validação cruzada geraram os seguintes valores de acurácia: KNN (0.993), árvore de decisão (0.998), SVM (0.959), *naive bayes* (0.766) e CN2 (0.995). Esses valores refletem o desempenho dos algoritmos em um único conjunto de treinamento e teste, sem a consideração de possíveis variações nos dados.

Já nos resultados com validação cruzada, geraram os seguintes valores de acurácia: KNN (0.996), árvore de decisão (0.997), SVM (0.971), *naive bayes* (0.748) e CN2 (0.996). Esses valores representam uma avaliação mais abrangente do desempenho dos algoritmos, considerando diferentes divisões dos dados em conjuntos de treinamento e teste.

Ao comparar os dois conjuntos de resultados, pode-se notar que, em geral, os valores de acurácia são consistentes entre os dois cenários. Algoritmos como KNN, árvore de Decisão e CN2 apresentam resultados similares em ambas as situações, indicando uma boa capacidade de classificação e generalização. Por outro lado, o algoritmo *naive bayes* demonstra uma queda na acurácia com a validação cruzada.

6.3.2 Matriz de Confusão Algoritmos

Além da acurácia, outra métrica importante para avaliar a performance do algoritmo é a matriz de confusão. A Figura 6.20 apresenta a matriz de confusão do algoritmo Naive Bayes, que obteve uma avaliação de acurácia baixa.

		Predicted				Σ
		alimenta 60%	alimenta 80%	alimenta 100%	não alimenta	
Actual	alimenta 60%	60.5 %	NA	0.0 %	NA	164
	alimenta 80%	20.7 %	NA	6.4 %	NA	111
	alimenta 100%	7.0 %	NA	81.6 %	NA	721
	não alimenta	11.8 %	NA	12.0 %	NA	135
Σ		271	0	860	0	1131

Figura 6.20: Matriz de confusão algoritmo *naive bayes*.

A Figura 6.21 apresenta a matriz de confusão do algoritmo Árvore de Decisão, que apresentou o melhor valor de acurácia.

Actual	Predicted				Σ
	alimenta 60%	alimenta 80%	alimenta 100%	não alimenta	
alimenta 60%	100.0 %	0.9 %	0.0 %	0.0 %	164
alimenta 80%	0.0 %	99.1 %	0.1 %	0.0 %	111
alimenta 100%	0.0 %	0.0 %	99.9 %	0.0 %	721
não alimenta	0.0 %	0.0 %	0.0 %	100.0 %	135
Σ	163	111	722	135	1131

Figura 6.21: Matriz de confusão algoritmo árvore de decisão.

A Figura 6.22 apresenta a árvore de decisão gerada pelo modelo através do Orange Data Mining, que apresenta resultados semelhantes à Tabela 6.1. A árvore generalizou os dados, criando regras de associação.

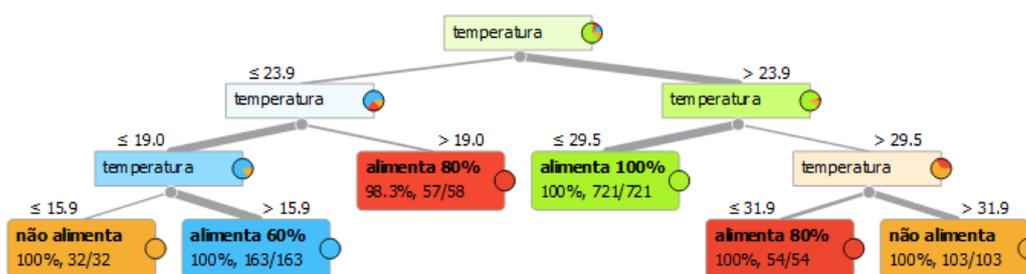


Figura 6.22: Árvore de Decisão do Modelo.

O nó raiz da árvore foi considerado como a temperatura. Em seguida, um nó foi criado no lado direito da árvore, indicando que se a temperatura for maior que 23.9, serão feitas mais duas tomadas de decisão. Se a temperatura for menor ou igual a 29.5, a taxa de alimentação é de 100%. Por outro lado, se a temperatura for maior que 29.5, são gerados mais nós. Se a temperatura for menor ou igual a 31.9, a taxa de alimentação é de 80%. No entanto, se a temperatura for maior que 31.9, não ocorre alimentação.

No lado esquerdo da árvore, outros nós foram criados. O primeiro nó indica que, se a temperatura for menor ou igual a 23.9, são gerados mais dois nós. Se a temperatura for maior que 19.0, a taxa de alimentação é de 80%. O outro nó criado afirma que, se a temperatura for menor ou igual a 19.0, são gerados mais dois nós. Se a temperatura for menor ou igual a 15.9, não ocorre alimentação. Porém, se a temperatura for maior que 15.9, a taxa de alimentação é de 60%.

6.3.3 Previsões dos Algoritmos

Para validação dos algoritmos foi elaborada uma base de dados para teste baseada na coleção [SENAR \[2019\]](#). As previsões de classificação para espécie da tilápia foram realizadas na plataforma *orange data mining*. Conforme já mencionado foi identificado que o algoritmo *naive bayes* apresentou um desempenho inferior aos demais, não conseguindo identificar corretamente

algumas porcentagens de alimentação dos peixes. O modelo foi capaz de identificar apenas duas porcentagens de alimentação: 60% e 100%, as porcentagens 80% e não alimentam, o modelo não conseguiu identificar. A figura 6.23 apresenta as previsões do algoritmo *naive bayes*.

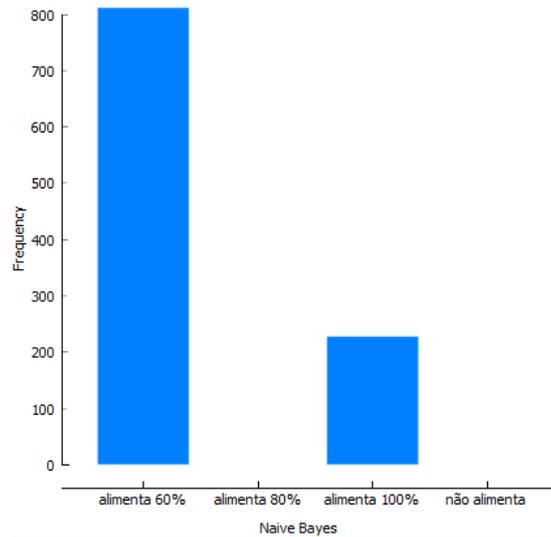


Figura 6.23: Gráfico com resultados das previsões do algoritmo *naive bayes*.

Contudo, outros algoritmos apresentaram resultados superiores. A figura 6.24 apresenta o gráfico com o resultado de previsões do algoritmo árvore de decisão com novos dados simulados de temperatura.

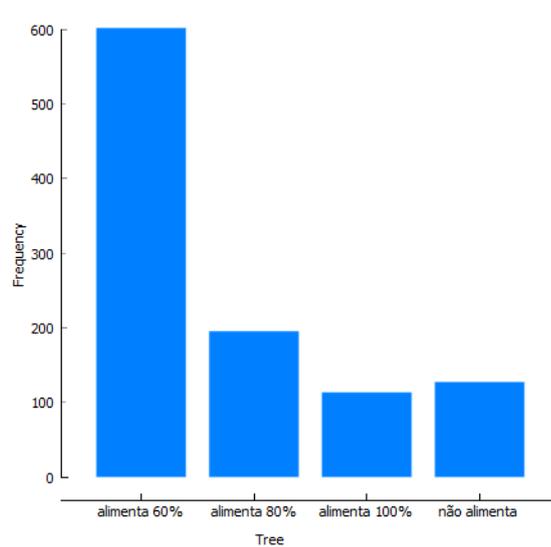


Figura 6.24: Gráfico com resultados das previsões do algoritmo árvore de decisão.

6.4 Algoritmos de Regressão para Recomendação de Alimentação da Espécie Tambaqui

A primeira etapa deste trabalho consistiu na classificação da alimentação da espécie tilápia. No entanto, o foco principal da pesquisa foi a recomendação de alimentação da espécie de peixe tambaqui da região amazônica.

6.4.1 Avaliação Algoritmos de aprendizado de recomendação da Quantidade de Ração

Após o treinamento dos modelos de aprendizado de máquina de regressão, conforme mencionado na seção 5.1.9, foram aplicadas as métricas de erro médio absoluto (MAE), erro médio quadrático (MSE) e coeficiente de determinação (R^2) para avaliar o desempenho de cada algoritmo.

- **Erro médio absoluto:** Esta métrica é a média dos valores absolutos das diferenças entre as previsões do modelo e os valores reais dos dados de teste. O MAE mede o tamanho médio dos erros de previsão, independentemente da direção (positiva ou negativa) dos erros. Quanto menor o valor do MAE, melhor é o desempenho do modelo.
- **Erro médio quadrático:** Esta métrica é a média dos quadrados das diferenças entre as previsões do modelo e os valores reais dos dados de teste. O MSE dá mais peso aos erros maiores, tornando-se uma métrica mais sensível a erros grandes. Assim como o MAE, o MSE é uma medida do desempenho de previsão do modelo, mas ao quadrado.
- **Coefficiente de determinação:** Esta métrica é uma medida estatística que indica o quão bem o modelo se ajusta aos dados. O valor do R^2 varia de 0 a 1, onde 1 indica um ajuste perfeito do modelo aos dados.

A recomendação de alimentação consiste em duas etapas. Na primeira etapa, é prevista a taxa de alimentação do tambaqui em relação ao seu peso. A tabela 6.4 apresenta os resultados dos algoritmos avaliados para previsão da taxa de alimentação em relação ao peso do tambaqui.

Tabela 6.4: Métricas para previsão da taxa de alimentação em relação ao peso do tambaqui

Algoritmo	MAE	MSE	R^2
Floresta randômica	0.0	0.0	1.0
Árvore de decisão	0.33	0.25	0.99
K-vizinhos mais próximos (KNN)	0.34	0.40	0.98
<i>gradient boosting</i>	0.33	0.25	0.99
<i>AdaBoost</i>	0.39	0.33	0.99
Rede neural sequencial	0.43	0.32	0.99

Fonte: Próprio autor

A análise dos resultados apresentados na Tabela 6.4 indica que o algoritmo de floresta randômica obteve os melhores resultados, com MAE, MSE e R^2 de 0.0, 0.0 e 1.0, respectivamente. Um valor de R^2 igual a 1.00 significa que o modelo é capaz de explicar 100% da variabilidade dos dados de teste. Os demais algoritmos obtiveram resultados próximos, mas o algoritmo de floresta randômica foi escolhido para a previsão da taxa de alimentação devido à sua melhor performance. A segunda etapa para recomendação de alimentação, é a previsão da porcentagem de alimentação do tambaqui em relação à temperatura da água (Tabela 6.5).

Tabela 6.5: Métricas para previsão da taxa de alimentação em relação a temperatura da água

Algoritmo	MAE	MSE	R ²
Árvore de decisão	0.0	0.0	1.0
Floresta randômica	3.63	44.99	0.97
K-vizinhos mais próximos (KNN)	6.48	154.3	0.91
<i>gradient boosting</i>	0.0	1.48	0.99
<i>AdaBoost</i>	4.67	37.79	0.97
Máquina de vetores de suporte	4.16	104.16	0.94

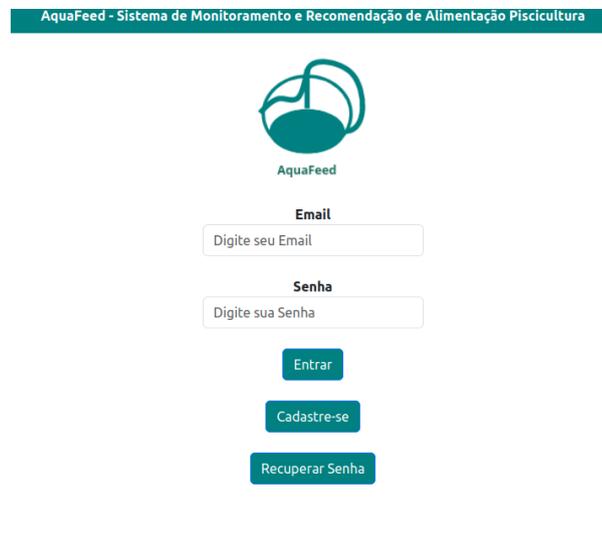
Fonte: Próprio autor

Na tabela 6.5 pode-se notar que dentre os valores das métricas de avaliação o algoritmo que obteve melhor resultado foi o de árvore de decisão com MAE de 0.0, MSE de 0.0, e R² de 1.0. Os demais algoritmos obtiveram valores próximos. Portanto, para previsão da taxa de alimentação foi utilizado o algoritmo árvore de decisão.

6.5 Software AquaFeed - Sistema de Monitoramento e Recomendação de Alimentação Piscicultura

Para proporcionar ao piscicultor acesso aos resultados das recomendações da quantidade de ração, foi desenvolvido um software web composto por duas partes essenciais: o *front-end*, que corresponde à interface de interação com o usuário através das telas, e o *back-end*, responsável pela comunicação com o banco de dados. A figura 6.25 apresenta a tela inicial do software.

Figura 6.25: Software AquaFeed: tela inicial do Software recomendação de alimentação.



Fonte: Próprio autor

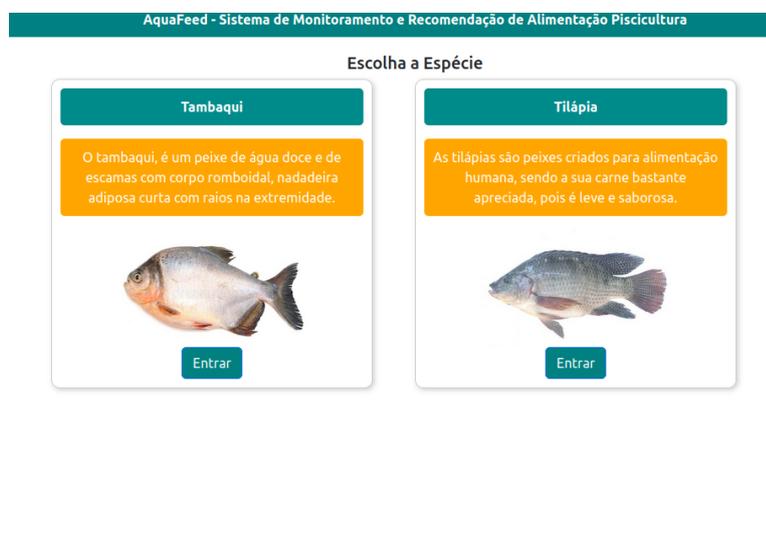
Na tela inicial do software, o piscicultor tem à sua disposição as seguintes opções:

- **Login:** O piscicultor pode informar seu e-mail e senha cadastrados para acessar o sistema. Após o *login*, ele será direcionado para a tela de seleção da espécie desejada.
- **Cadastro:** O piscicultor que ainda não possui cadastro pode realizar o registro para obter acesso ao sistema. Para isso, ele deve informar seu nome completo, e-mail e criar uma senha. Após o cadastro, o piscicultor será direcionado novamente para a tela de *login*.
- **Recuperação de senha:** O piscicultor que esqueceu sua senha pode recuperá-la por meio de um processo específico. Para isso, ele deve informar seu e-mail cadastrado e inserir uma nova senha. Após a conclusão do processo, o piscicultor será direcionado novamente para a tela de *login*.

Após o piscicultor efetuar o *login*, o piscicultor será direcionado para a página de seleção da espécie, onde terá a opção de escolher entre o tambaqui e a tilápia. Contudo, é relevante ressaltar que, no momento, o software está funcional apenas para a espécie de tambaqui.

A figura 6.26 apresenta a tela de escolha da espécie.

Figura 6.26: Software AquaFeed: tela de escolha de espécie.



Próprio autor

Após o piscicultor escolher a espécie de tambaqui, o piscicultor tem duas opções. A primeira será solicitado que ele informe os dados de biometria, incluindo a média dos pesos dos alevinos presentes no viveiro e a quantidade total de peixes. Ao acionar o botão "Enviar Dados", os algoritmos de aprendizado de máquina de regressão serão executados para prever a taxa de alimentação em relação ao peso do peixe e a porcentagem de alimentação em relação à temperatura da água, medida através do sensor conectado ao hardware. Na segunda opção, o piscicultor pode visualizar os valores mensurados através dos sensores. Ao acionar o botão "Visualizar Dados", onde será direcionado para a página para visualizar os parâmetros, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e pH.

A figura 6.27 apresenta a tela de definição dos parâmetros de entrada, que seriam peso, e quantidade de peixes.

Figura 6.27: Software AquaFeed: página de definição de parâmetros.

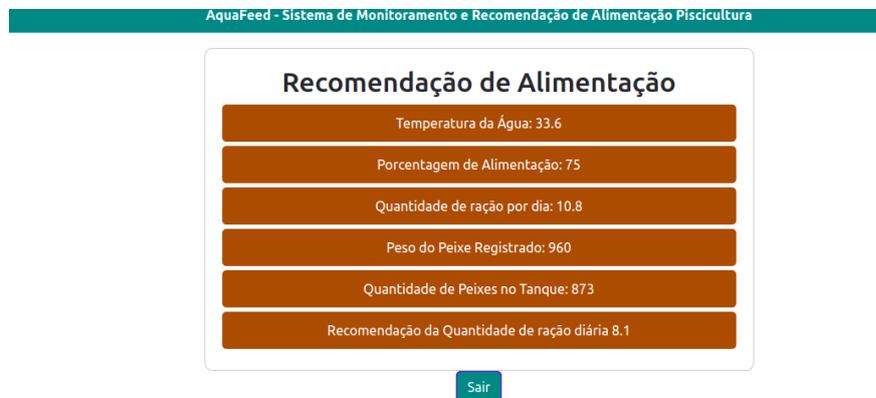


Próprio autor

O piscicultor optando por gerar a recomendação de alimentação, será direcionado para uma página com os resultados da recomendação.

A figura 6.28 apresenta a tela do software com os resultados finais.

Figura 6.28: Software AquaFeed: página recomendação de alimentação



Próprio autor

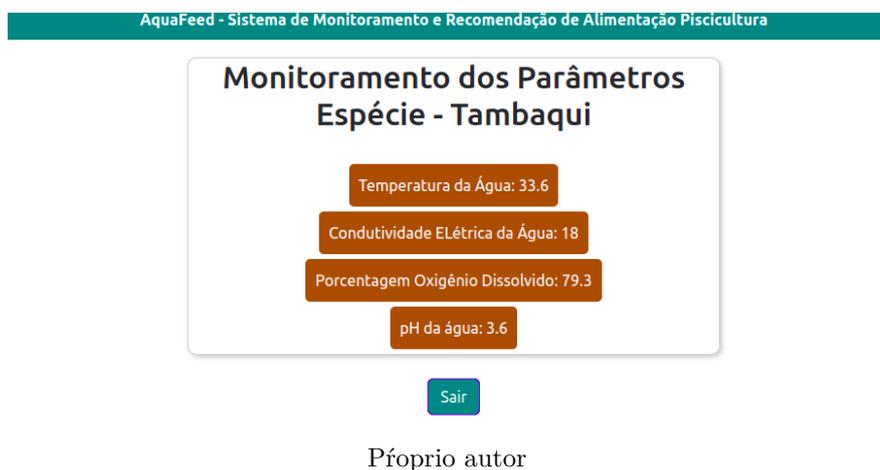
Os resultados das previsões e cálculos para recomendação de alimentação são apresentados em uma página web. O piscicultor tem acesso a uma tela dinâmica que exibe as seguintes informações:

- Temperatura atual da água adquirida através do sensor de temperatura.
- Valor previsto da porcentagem de alimentação.

- Quantidade de ração do dia, sem considerar a temperatura da água.
- Último peso registrado pelo piscicultor no software.
- Última quantidade de peixes registrada pelo piscicultor no software.
- Resultado final da quantidade de ração para o viveiro.

No entanto, se o piscicultor optar por visualizar os dados, será direcionado para a página que vai exibir os valores mensurados através dos sensores. A figura 6.29 apresenta a tela do software para visualizar os dados coletados dos sensores.

Figura 6.29: Software AquaFeed: Monitoramento dos parâmetros da espécie tambaqui.



Na página de monitoramento dos parâmetros da espécie tambaqui, são exibidos os valores dos parâmetros, temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e nível de pH da água.

6.6 Testes em Campo

Com o intuito de avaliar o hardware e resultados dos sensores do sistema, foi realizado testes em campo. Foram utilizados dois instrumentos multi-parâmetros para comparar os resultados dos dados coletados do protótipo, com os dados medidos através destes equipamentos. A figura 6.30 apresenta os instrumentos multiparâmetros no laboratório de caracterização elétrica co Instituto SENAI de Inovação em Microeletrônica.

Figura 6.30: Instrumentos Multi-parâmetros.



Próprio autor

Ambos os instrumentos utilizados para realizar as medições em campo são da fabricante *Hanna Instruments*. O equipamento esquerda da figura 6.30 possui como referência *HI9811-5*, este mede pH, condutividade, e temperatura, já o instrumento a direita possui como referência *HI98198*, este mede apenas oxigênio dissolvido.

O local para validar o funcionamento da plataforma, onde foram realizados testes em campo, foi em um sítio no km 030, município do Iranduba, comunidade Lago do Limão. O proprietário autorizou os testes no viveiro da espécie de tambaqui.

A figura 6.31 apresenta o local onde foram realizados os testes em campo.



Figura 6.31: Viveiro de tambaqui

Foram realizados as medições em quatro pontos, dois sensores foram medidos pela manhã, e os outros dois sensores foram medidos pela tarde, A figura 6.31 ilustra os 4 pontos.

Antes de submergir os sensores do protótipo na água foi realizada a calibração de acordo com as soluções e instruções de cada fabricante, para obter melhor atividade durante os testes em campo. A figura 6.32 apresenta imagens tiradas de câmera sendo realizada as medições com os instrumentos multiparâmetros e o protótipo desenvolvido.



Figura 6.32: Viveiro de tabaqui

Foram realizadas medições de quatro parâmetros de qualidade da água: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica e temperatura. O objetivo foi validar a usabilidade do protótipo desenvolvido, comparando os resultados das medições realizadas com o protótipo com os resultados das medições realizadas com instrumentos comerciais. A figura 6.33 apresenta os gráficos representando os resultados.

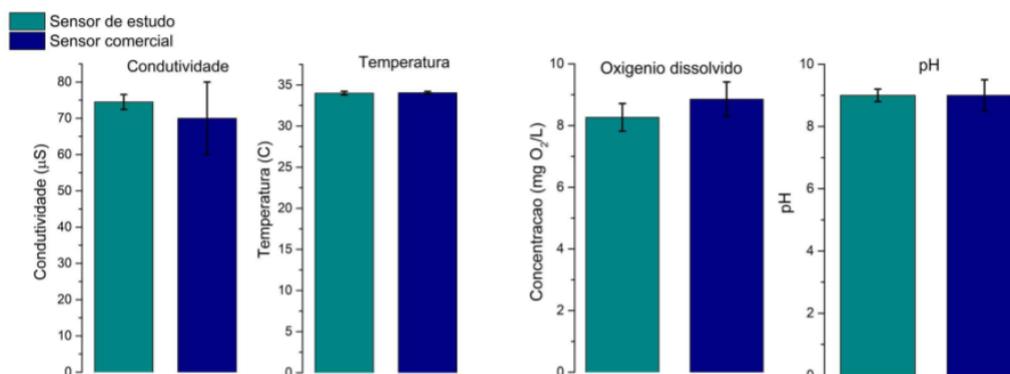


Figura 6.33: Resultados das avaliações em Campo

A figura 6.33 apresenta os gráficos dos resultados das medições realizadas com o protótipo e com instrumentos comerciais com indicação das médias e os desvios padrões. A legenda "Sensor de estudo" indica que é o sensor utilizado no protótipo, já a legenda "Sensor comercial" indica que são os instrumentos comerciais.

Os resultados dos testes em campo apresentaram resultados satisfatórios, com valores das médias numericamente próximos dos obtidos com os instrumentos comerciais. Os valores dos desvios são similares aos valores comerciais, exceto para condutividade que o comercial faz medida apenas a cada 10 uS. Foram aplicados teste F para todos os parâmetros individuais para comparar os sensores deste trabalho e os comerciais, e para um nível de confiança de 95

por cento, eles são estatisticamente semelhantes, logo o F calculado ($F_{cpH} = 1,87$, $F_{cT} = 1,68$; $F_{ck} = 7,84$) é menor que o valor de F tabelado = 9,28. Os sensores de condutividade elétrica e oxigênio dissolvido obtiveram as medidas sem demora para estabilizar. No entanto, os sensores de temperatura e pH apresentaram um pouco de demora para estabilizar. Apesar disso, os valores obtidos com o protótipo ficaram próximos dos obtidos com os instrumentos comerciais.

Capítulo 7

Considerações Finais e Trabalhos Futuros

A piscicultura é uma atividade econômica importante no Brasil, e a espécie tambaqui é uma das mais cultivadas. Ao longo deste trabalho, foi apresentado um dos principais problemas enfrentados em operações de piscicultura, como a gestão da qualidade da água e do manejo alimentar. A qualidade da água impacta diretamente o bem-estar e a saúde dos animais, enquanto o manejo alimentar adequado garante o crescimento saudável e a produtividade da piscicultura. Nesta dissertação, foi apresentado um sistema de monitoramento dos parâmetros e recomendação da alimentação através de técnicas de aprendizado de máquina para operações de piscicultura da espécie tambaqui.

O sistema é composto por hardware para coleta e monitoramento dos parâmetros e um software que utiliza algoritmos de aprendizado de máquina, aplicando técnica de regressão para gerar recomendações de alimentação diária e para visualizar os valores dos parâmetros e as recomendações diárias de alimentação.

Brevemente, o capítulo 1 nos deu uma visão geral sobre conceitos fundamentais, apresentou o problema e nos motivou a seguir com afinco nas propostas realizadas. No capítulo 2 foram apresentados os principais conceitos sobre a piscicultura, tecnologias de monitoramento, algoritmos de aprendizado de máquina, dentre outros. O capítulo 3 apresenta uma revisão na literatura com os principais trabalhos relacionados ao tema. O capítulo 4 apresenta a metodologia proposta para o desenvolvimento deste sistema. O capítulo 5 apresenta a solução proposta para o desenvolvimento do sistema, abordando com detalhes cada tópico da metodologia. No capítulo 6, encontram-se os resultados obtidos neste trabalho, dentre eles, as avaliações dos algoritmos treinados, testes laboratoriais e em campos do protótipo e sensores utilizados. Por fim, neste capítulo estão sendo apresentadas as considerações finais desta pesquisa. Portanto, para o desenvolvimento deste trabalho, foi fundamental o estudo das operações de piscicultura, com suas características, a fim de compreender quais são os parâmetros físico-químicos, sua importância e a forma como é realizada a alimentação da espécie de tambaqui.

A arquitetura proposta foi testada no laboratório de confiabilidade do Instituto SENAI de Inovação, apresentando bons resultados em todos os testes submetidos. A ferramenta utilizada para armazenar as medições, o InfluxDB é intuitiva e permite que o usuário obtenha resultados de forma objetiva.

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, foram realizados experimentos como a aplicação de algoritmos de aprendizado de máquina para a espécie tilápia. Essa parte do trabalho foi aceita

para publicação no Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente, com o título "Desenvolvimento de uma Plataforma IoT para Monitoramento da Qualidade da Água na Piscicultura".

Os algoritmos de aprendizado de máquina utilizados apresentaram bons valores nas métricas de avaliação, acurácia e matriz de confusão. Embora o Naive Bayes tenha apresentado menor assertividade em alguns casos, os demais algoritmos alcançaram resultados satisfatórios e foram capazes de prever com precisão a alimentação ideal para os peixes, levando em consideração as condições da água e temperatura. Isso destaca a importância do uso de algoritmos de aprendizado de máquina na otimização da produção de peixes em pisciculturas.

Dentre os algoritmos utilizados no treinamento para previsão da porcentagem de alimentação da espécie tilápia, a árvore de decisão se destacou como o mais eficaz, apresentando uma alta acurácia de 0,998. Ao analisar a matriz de confusão gerada por esse algoritmo, podemos observar que houve uma taxa de erro de apenas 0,9% na predição de "alimenta 80%" e 0,1% na predição de "alimenta 100%". No entanto, considerando os resultados com e sem validação cruzada, pode-se afirmar que os algoritmos *KNN*, Árvore de Decisão e *CN2* apresentam um desempenho consistente e confiável na classificação dos dados, independentemente da forma como foram avaliados. Já o algoritmo Naive Bayes pode requerer uma análise mais cuidadosa e possíveis ajustes para melhorar sua capacidade de generalização.

No decorrer desta pesquisa, foi desenvolvido um software para visualização dos dados previstos e recomendação de alimentação para a espécie tambaqui. O software possui uma interface intuitiva, visando proporcionar uma interação simples e eficaz entre o piscicultor e o sistema.

Neste software foi aplicada outra técnica de aprendizado de máquina, a regressão. Os algoritmos de aprendizado de máquina de regressão para recomendação da quantidade de ração da espécie tambaqui, apresentaram-nos resultados nas métricas de Coeficiente de Determinação, Erro Médio Absoluto e Erro Médio Quadrático. Isso evidencia a capacidade dos algoritmos em prever a alimentação ideal para os peixes da espécie tambaqui, considerando fatores como temperatura da água e peso dos peixes. Esses resultados destacam a importância do uso de algoritmos de aprendizado de máquina na otimização da produção de peixes em pisciculturas.

Entre os trabalhos correlatos analisados, observa-se que a maioria se concentra no monitoramento de três parâmetros. Já os trabalhos que abordam o uso de inteligência artificial aplicam para a previsão da qualidade da água. Este trabalho, por sua vez, se diferencia por monitorar quatro parâmetros, incluindo condutividade elétrica e o nível de oxigênio dissolvido, variável utilizada por apenas três dos trabalhos correlatos. Além disso, este estudo aplica técnicas de machine learning para auxiliar no manejo alimentar. Em cada trabalho, foram analisados os hardwares e técnicas empregadas, metodologia de testes. A maioria realizou testes em laboratório, contudo, neste trabalho, foram realizados também testes em campo.

Para concluir este trabalho, notou-se que os resultados obtidos foram positivos. Os sensores utilizados acompanharam os valores mensurados nos instrumentos multiparâmetros, demonstrando a precisão do sistema de monitoramento da qualidade da água. A simulação manual do processo de recomendação de alimentação mostrou que o algoritmo está assertivo, e que pode ser utilizado para gerar recomendações precisas. A ferramenta desenvolvida pode auxiliar o piscicultor ou operador nas atividades de criação de peixes, e manutenção dos viveiros, com uma plataforma de baixo custo desenvolvida é possível até mesmo avaliar redução com mão de obra e facilidade na identificação de problemas durante o cultivo. Para trabalhos futuros, recomenda-se que este algoritmo seja utilizado para recomendação de alimentação da espécie de tambaqui. Além disso, a implementação de visão computacional para previsão de peso e quantidade de biomassa tornaria o sistema totalmente automatizado.

Referências Bibliográficas

- A Rodrigues Alves and Carlos Roberto da Silveira Junior. Telemetria no monitoramento e controle do ambiente de piscicultura. *6º Seminário de Iniciação Científica*, 2012.
- Renan Diego Amanajás and Adalberto Luis Val. Thermal biology of tambaqui (colossoma macropomum): General insights for aquaculture in a changing world. *Reviews in Aquaculture*, 15(2):480–490, 2023.
- Benilton Seixas Andrade et al. Desenvolvimento de um software embarcado supervisor de recursos hídricos para monitorar em tempo real a qualidade dos recursos hídricos na piscicultura. 2022.
- Atlas Scientific. Dissolved oxygen meter. URL <https://atlas-scientific.com/embedded-solutions/dissolved-oxygen-meter/>.
- Rafael Luis Bartz et al. Sensoriamento remoto para análise de parâmetros de qualidade da água aplicado à piscicultura. 2021.
- Geovani Bresciani. Sistema de monitoramento e automação aplicado à piscicultura. B.S. thesis, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2015.
- Luigi Carro and Flávio Rech Wagner. Sistemas computacionais embarcados. *Jornadas de atualização em informática. Campinas: UNICAMP*, 2003.
- Jui-Ho Chen, Wen-Tsai Sung, and Guo-Yan Lin. Automated monitoring system for the fish farm aquaculture environment. In *2015 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, pages 1161–1166. IEEE, 2015.
- Roselany. Corrêa, Alexandra. Sousa, and Heitor. Junior. *Criação de Tambaquis*, volume 1. Embrapa Amazônia Oriental, 2018.
- Carlos Roberto da Silveira Junior, A Rodrigues Alves, and L Henrique Correia. O uso do celular no monitoramento do ambiente de piscicultura. In *X Congresso Brasileiro de Agroinformática*, 2015.
- Françoia Costa de Souza and Jean Louchard Ferreira Soares. Análise da qualidade da água de uma piscicultura tradicional da comunidade do guajará no município de cameté-pa. *Brazilian Journal of Development*, 6(1):3964–3976, 2020.
- Rodrigo Alves dos Reis, Michela Carla Sanches, and Alírio Coromoto Daboin Maldonado. Água, fonte da vida/water, source of life. *Brazilian Journal of Development*, 7(3):28297–28296, 2021.

- Monique Virões Barbosa dos Santos, Carlos Alberto Ramos Domiciano, Fabiano da Guia Rocha, Cristian Jacques Bolner de Lima, Lázaro Alecrim de Jesus, and Joeder Rodrigues França Moura. Desenvolvimento de sistema automático de análise de ph e temperatura da água para aquicultura. *Anais do Computer on the Beach*, pages 325–333, 2018.
- Sarah Nogueira dos Santos et al. um protótipo para medição e controle da qualidade um protótipo para medição e controle da qualidade da água no contexto de sistemas de piscicultura. *Igapó*, 14(1), 2020.
- Eglerson Duarte, Fernanda da Conceição Moreira, Marcelo Mattos Pedreira, Aldrin Vieira Pires, et al. Parâmetros físico-químicos da água para cultivo de tilápia do nilo em sistemas de biofiltros. 2014.
- Peter Edwards and Harvey Demaine. *Rural Aquaculture: Overview and Framework for Country Reviews*. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Regional Office for Asia and the Pacific, Bangkok, Thailand, 1998.
- Eletrogate. Sensor de temperatura ds18b20 à prova d'Água. URL <https://www.eletrogate.com/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua>.
- FilipeFlop. Módulo wifi esp32 bluetooth, 2024. URL <https://www.filipeflop.com/produto/modulo-wifi-esp32-bluetooth/>.
- Élton Fontana. Introdução aos algoritmos de aprendizagem supervisionada. *Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Paraná*, 2020.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. Fishery and aquaculture country profiles - brazil, 2020. URL <https://www.fao.org/fishery/en/facp/bra?lang=en>. Accessed on: 10/07/2023.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. *Fishery and Aquaculture Statistics – Yearbook 2020*. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics, Rome, 2023. doi: 10.4060/cc7493en. URL <https://doi.org/10.4060/cc7493en>.
- Valdener Garutti. *Piscicultura ecológica*. Unesp, 2003.
- Arthur Jahnke Hoch and Charles Varlei Neu. Modelo de sistema iot com múltiplos sensores para criar ambientes inteligentes. *Mostra de Extensão, Ciência e Tecnologia da Unisc*, (2): 410, 2021.
- William Ludovico Homem and PET Engenharia Mecânica Ufes. Apostila de machine learning. *PET Engenharia Mecânica, UFES*, 2020.
- Claucia Aparecida Honorato. Medidas para ampliação à sanidade na piscicultura—a importância da alimentação de qualidade. *Revista on line de Extensão e Cultura-Realização*, 6(11):34–43, 2019.
- Wu-Chih Hu, Liang-Bi Chen, Bo-Kai Huang, and Hong-Ming Lin. A computer vision-based intelligent fish feeding system using deep learning techniques for aquaculture. *IEEE Sensors Journal*, 22(7):7185–7194, 2022. doi: 10.1109/JSEN.2022.3151777.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Sidra ibge, 2023. URL <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/3940>.

- Wilmar Borges Leal Junior, Fabiano Medeiros Tavares, Ítalo Cordeiro Silva Lima, Delfim Dias Bonfim, Lucyano Campos Martins, Nailson Martins Dantas Landim, Haryson Huan Arruda da Silva Santos, and Douglas Ferreira Chaves. Estudo da viabilidade no desenvolvimento de um sistema computacional de baixo custo para monitoramento da qualidade da água em cultivos de organismos aquáticos: Aplicação inicial em viveiros escavados. 2018.
- Wilmar Borges Leal Junior, Nailson Martins Dantas Landim, Robert Mady Nunes, and Humberto Xavier de Araujo. Projeto de um sistema de automação para piscicultura utilizando internet das coisas-iot, 2019.
- Wilson Salomão Félix Júnior et al. Aplicação de aprendizado por reforço em navegação de robôs. 2022.
- Fernando Kubitzka. Qualidade da água na produção de peixes—parte iii (final). *Panorama Aquicult*, 8:35–43, 1998.
- R Ribeiro Laranjeira. Control remoto y autónomo de un sistema de acuicultura. *Aveiro, Portugal: Universidad de Aveiro*, 2014.
- Matheus Hernandes Leira, LT da Cunha, Mirian Silvia Braz, Carlos Cicinato Vieira Melo, Hortência Aparecida Botelho, and Lucas Silva Reghim. Qualidade da água e seu uso em pisciculturas. *Pubvet*, 11(1):11–17, 2017.
- AF Lima, AP Da Silva, APO Rodrigues, GT BERGAMIN, LS TORATI, MX Pedroza Filho, and PO MACIEL. Qualidade da água: piscicultura familiar. *Embrapa Pesca e Aquicultura-Fôlder/Folheto/Cartilha (INFOTECA-E)*, 2013.
- LogoWik. Influxdb logo. URL <https://logowik.com/influxdb-logo-vector-svg-png-free-download-25904.html>.
- Jackelline Cristina Ost Lopes. Piscicultura. 2018.
- JN de P LOURENÇO, JC de O MALTA, and Francisneide Neves de Sousa. A importância de monitorar a qualidade da água na piscicultura. *Embrapa Amazônia Ocidental-Séries anteriores (INFOTECA-E)*, 1999.
- Batta Mahesh. Machine learning algorithms-a review. *International Journal of Science and Research (IJSR).[Internet]*, 9:381–386, 2020.
- Victor Marotta. Aprendizado não supervisionado com o kmeans. *Universidade Federal de Viçosa*, 2019.
- Protection Officer. Food and agriculture organization of the united nations. *FAO, Italy*, 2016.
- Peixe BR. Anuário Peixe BR da piscicultura. *São Paulo, Associação Brasileira de Piscicultura*, 2022.
- Ricardo Quintero, Jaqueline Parra, and Francisco Félix. Water quality assurance in aquaculture ponds using machine learning and iot techniques. In *2022 IEEE Mexican International Conference on Computer Science (ENC)*, pages 1–6. IEEE, 2022.
- Paula Adriane Perez Ribeiro, DC Melo, Leandro Santos Costa, and EA Teixeira. Manejo nutricional e alimentar de peixes de água doce. *Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais*, 2012.

- Ana Paula Oeda RODRIGUES, AF Lima, AL Alves, DK Rosa, LS Torati, VRV dos SANTOS, CNPASA ANA PAULA OEDA RODRIGUES, CNPASA ADRIANA FERREIRA LIMA, CNPASA ANDERSON LUIS ALVES, CNPASA DANIELE KLOPPEL ROSA EVANGELISTA, et al. Piscicultura de água doce: multiplicando conhecimentos. 2013.
- Mehboob Hasan Rohit, Zarin TarannumHoque, SM Mujibul Karim, and Shahnewaz Siddique. Cost efficient automated pisciculture assistance system using internet of things (iot). In *SERP4IoT@ ICSE*, pages 49–52, 2019.
- Henrique Ruschel, Mariana Susan Zanotto, and W da C MOTA. Computação em nuvem. *Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba, Brazil*, 2010.
- Bruno P Santos, Lucas AM Silva, Clayson SFS Celes, João B Borges Neto, Bruna S Peres, Marcos Augusto M Vieira, Luiz Filipe M Vieira, Olga N Goussevskaia, and Antonio AF Loureiro. Internet das coisas: da teoria à prática. 2016.
- Hellen Geremias dos Santos, Carla Ferreira do Nascimento, Rafael Izbicki, Yeda Aparecida de Oliveira Duarte, Porto Chiavegatto Filho, and Alexandre Dias. Machine learning para análises preditivas em saúde: exemplo de aplicação para predizer óbito em idosos de são paulo, brasil. *Cadernos de Saúde Pública*, 35:e00050818, 2019.
- SENAR. Coleção 263 piscicultura: alimentação. pages 1–52. SENAR, 2019.
- Tagore Villarim de Siqueira. Aquicultura: a nova fronteira para produção de alimentos de forma sustentável. 2018.
- Smart Projects. Módulo leitor de cartão sd card. URL <https://www.smartprojectsbrasil.com.br/modulo-leitor-cartao-sd-card>.
- STA Eletrônica. Características principais do arduino uno. URL <https://www.sta-eletrônica.com.br/artigos/arduinos/características-principais-do-arduino-uno>.
- F.M. Suplicy. Brazil, 2023. URL https://www.fao.org/fishery/en/countrysector/naso_brazil. Cited on: December 22, 2023.
- C TAVARES. Sistemas de alimentação inteligentes na piscicultura.[s. l.]. *Grupo Integrado de Aquicultura e Estudos Ambientais (GIA)*, 20, 2021.
- Usinainfo. Módulo sensor de ph bnc ph4502c (sem sonda). URL <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/modulo-sensor-de-ph-bnc-ph4502c-sem-sonda-8023.html>.
- Usinainfo TDS. Medidor de tds - sensor de condutividade da Água analógico. URL <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/medidor-de-tds-sensor-de-condutividade-da-agua-analogico-8184.html>.
- Wikipédia Scikit-Learn. Scikit-learn. URL <https://pt.wikipedia.org/wiki/Scikit-learn>.
- Larissa Winter and Sergio Henrique Rodrigues Mota. Sistema automatizado de monitoramento e arraçamento aplicado à criação de tilápias em tanques-rede. *Revista Thêma et Scientia*, 11(2):96–113, 2021.
- Andres Felipe Zambrano, Luis Felipe Giraldo, Julian Quimbayo, Brayán Medina, and Eduardo Castillo. Machine learning for manually-measured water quality prediction in fish farming. *Plos one*, 16(8):e0256380, 2021.