

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

JONI GUND

VALIDAÇÃO DE MÉTODO INDIRETO DE MONITORAMENTO DE NÍVEIS DE
AMÔNIA EM AQUAPONIA



CASCADEL

2023

JONI GUND

VALIDAÇÃO DE MÉTODO INDIRETO DE MONITORAMENTO DE NÍVEIS DE AMÔNIA
EM AQUAPONIA

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre, Curso de Mestrado em Engenharia e Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina.

Orientadores: Professora Doutora Lilian Dena dos Santos e Professor Mestre Marcos Antonio Schreiner.

CASCADEL

2023

Universidade Federal do Paraná. Sistemas de Bibliotecas.
Biblioteca UFPR Palotina.

G975 Gund, Joni

Validação de método indireto de monitoramento de níveis de amônia em aquaponia / Joni Gund. – Cascavel, PR, 2023.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Programa de Pós-Graduação Engenharia e Tecnologia Ambiental – UFPR/UNIOESTE.

Orientadores: Professora Doutora Lilian Dena dos Santos e Professor Mestre Marcos Antonio Schreiner.

1. Arduíno. 2. Prototipagem. 3. Tilápia.
I. Santos, Lilian Dena dos. II. Schreiner, Marcos Antonio.
III. Universidade Federal do Paraná. IV. Título.

CDU 502

Bibliotecária: Aparecida Pereira dos Santos – CRB 9/1653



TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação ENGENHARIA E TECNOLOGIA AMBIENTAL da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **JONI GUND** intitulada: **VALIDAÇÃO DE MÉTODO INDIRETO DE MONITORAMENTO DE NÍVEIS DE AMÔNIA EM AQUAPONIA**, sob orientação da Profa. Dra. LILIAN DENA DOS SANTOS, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua **APROVAÇÃO** no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

Palotina, 05 de Julho de 2023.

Assinatura Eletrônica

07/06/2023 13:54:42.0

LILIAN DENA DOS SANTOS

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

07/06/2023 09:59:17.0

ANDERSON DA SILVA MARCOLINO

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Assinatura Eletrônica

07/07/2023 16:31:16.0

LILIAN CAROLINA ROSA DA SILVA

Avaliador Externo (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

RESUMO

Atividades produtivas de alto desempenho, como a aquaponia, requerem monitoramento e controle para assegurar seu funcionamento. Este estudo teve como objetivo avaliar e validar uma metodologia para obtenção de resultados de concentração de amônia de modo automatizado de forma indireta, com o uso de sensores, software próprio e hardware baseado na plataforma Arduino em sistema de aquaponia. A obtenção dos dados partiu de um sistema de aquaponia de recirculação total, composto de tanques de cultivo, filtros mecânico e biológico, reservatório da bomba e camas de cultivo para vegetais. As metodologias de determinação de amônia foram as seguintes: 1 – Teste comercial de amônia tóxica obtida por reagentes; 2 – Análise laboratorial para determinação de amônia por colorimetria; 3 – Leitura de dados por sensores de temperatura e pH, usando interpolação e fator de multiplicação por acumulação de Nitrogênio no sistema para leitura indireta. Os dados foram submetidos à análise estatística de normalidade e correlações de Spearman e Pearson. Os resultados mostraram fraca ou nenhuma correlação entre os valores absolutos dos dados obtidos nos 3 tratamentos, já em relação às dinâmicas das curvas de leitura, houve correlação entre o tratamento 3 e o tratamento 2, possibilitando a construção de curvas de equivalência em faixas pré definidas de manejo por projeção ortogonal. Conclui-se que foi possível validar o uso para operações de manejo do sistema aquapônico por correlação indireta pela distribuição das curvas de leitura, no entanto não foi possível a validação para leitura de valores absolutos de amônia de forma indireta.

Palavras-chave: Arduíno, Prototipagem, Tilápia.

ABSTRACT

High-end productive activities, such as aquaponics, require monitoring and control to ensure their functioning. This study aimed to evaluate and validate a methodology for obtaining results of ammonia concentration in an automated and indirect way, using sensors, proprietary software and hardware based on the Arduino platform in an aquaponics system. Data collection started with a total recirculation aquaponics system, composed of cultivation tanks, mechanical and biological filters, pump reservoir and cultivation beds for vegetables. The ammonia determination methodologies were the following: 1 – Commercial test of toxic ammonia obtained by reagents; 2 – Laboratory analysis for determination of ammonia by colorimetry; 3 – Data reading by temperature and pH sensors, using interpolation and multiplication factor by Nitrogen accumulation in the system for indirect reading. Data were submitted to statistical analysis of normality and Spearman and Pearson correlations. The results showed weak or no correlation between the absolute values in the 3 treatments, in relation to the dynamics of the reading curves, there was a correlation between treatment 3 and treatment 2, allowing the construction of equivalence curves in predefined ranges management by orthogonal projection. It was possible to validate the use of the aquaponic system for management operations by indirect correlation by the distribution of the reading curves, however, it was not possible to validate the reading of absolute ammonia values indirectly.

Key-words: Arduino, Prototyping, Tilapia.

LISTA DE FIGURAS E GRÁFICOS

FIGURA 1 - MODELO DE SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMAS DE CULTIVO	17
FIGURA 2 - FILTRO DE SÓLIDOS POR DECANTAÇÃO EM CORTE VERTICAL	17
FIGURA 3 - MODELO DE FILTRO BIOLÓGICO EM CORTE VERTICAL	18
FIGURA 4 - ARDUINO UNO R3	22
FIGURA 5 - KIT DE TESTE PARA AMÔNIA TÓXICA	31
FIGURA 6 - SENSOR DE TEMPERATURA DE ÁGUA DS18B20	36
FIGURA 7 - MÓDULO DE LEITURA E SONDA DO SENSOR DE pH	37
FIGURA 8 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO CONJUNTO	38
FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE AMÔNIA NÃO IONIZADA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA E pH DA ÁGUA	41
FIGURA 10 - CURVAS DE LEITURA DE AMÔNIA PARA T1 E T3	42

LISTA DE IMAGENS E QUADROS

IMAGEM 1 - SISTEMA DE AQUAPONIA COM RECIRCULAÇÃO TOTAL.....	30
IMAGEM 2 - TELA DA APLICAÇÃO DESKTOP PARA LEITURA DOS ‘ PARÂMETROS.....	39
IMAGEM 3 - TERMINAL DA APLICAÇÃO EM EXECUÇÃO.....	40
IMAGEM 4 - VISTA DOS TANQUES E DOS PEIXES AO FINAL DO PERÍODO DE AVALIAÇÃO.....	43
IMAGEM 5 - VISTA DO PROTÓTIPO INSTALADO SOBRE O TANQUE DE CULTIVO.....	44
IMAGEM 6 - TABELA DE LEITURA DE TEOR DE NH ₃ (AMÔNIA TÓXICA) – LABCONTEST.....	47
IMAGEM 7 - MODELO DE APLICAÇÃO DAS FAIXAS DE MANEJO ATRIBUÍDAS ÀS CURVAS DE LEITURA DE NITROGÊNIO AMONÍACAL TOTAL EM FUNÇÃO DE TEMPERATURA E pH.....	50
QUADRO 1 - LISTA DE COMPONENTES.....	35

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - PORCENTAGEM DE ANI EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E pH DA ÁGUA.....	19
TABELA 2 - PROGRAMA DE ARRAÇOAMENTO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E PESO VIVO.....	29
TABELA 3 - PORCENTAGEM DE AMÔNIA (NH ₃) DO NITROGÊNIO AMONICAL TOTAL PRESENTE EM SOLUÇÃO AQUOSA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DO pH (BOYD, TUCKER, 1992, APUD QUEIROZ, 2008).....	33
TABELA 4 - VALORES PARA TESTE DE NORMALIDADE DE SHAPIRO-WILK...	45
TABELA 5 - TESTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN.....	46
TABELA 6 - TESTE DE PEARSON A 5% ENTRE OS TRATAMENTOS T1 E T2...	48
TABELA 7 - TESTE DE PEARSON A 5% ENTRE OS TRATAMENTOS T1 E T3...	48
TABELA 8 - TESTE DE PEARSON A 5% ENTRE OS TRATAMENTOS T2 E T3...	50
TABELA 9 - VARIAÇÃO PROPORCIONAL DO VALOR DO FATOR N CALCULADO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CULTIVO.....	54

LISTA DE SIGLAS

ARDUINO - Placa de desenvolvimento e prototipagem eletrônica que permite o desenvolvimento de projetos de automação.

IDE - Do inglês Integrated Development Environment ou Ambiente de Desenvolvimento Integrado.

PROTOBOARD - Placa perfurada que serve como matriz de contatos no desenvolvimento de protótipos em eletrônica.

SKETCH - Blocos de códigos compilados gerados a partir da IDE Arduino.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	CONTEXTO E PROBLEMA	12
2	OBJETIVOS	14
2.2	OBJETIVO GERAL	14
2.3	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
3	JUSTIFICATIVA	15
4	REVISÃO TEÓRICA	16
4.1	A AQUAPONIA	16
4.2	QUALIDADE DA ÁGUA E MONITORAMENTO	18
4.3	AMÔNIA	19
4.4	DISPOSITIVOS DE PROTOTIPAGEM	21
4.5	COMUNICAÇÃO ENTRE HARDWARE E SOFTWARE	23
4.6	ARMAZENAMENTO DE DADOS	24
4.7	APLICAÇÃO	25
5	METODOLOGIA	28
5.1	LOCAL DA PESQUISA	28
5.2	AMÔNIA	30
5.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	34
5.4	HARDWARE	35
5.5	SOFTWARE	38
5.6	TRATAMENTO DE ERROS	40
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	41
6.1	RESULTADOS PRELIMINARES	41
6.2	RESULTADOS E DISCUSSÃO DO ESTUDO PRINCIPAL	42
6.3	TESTE DE NORMALIDADE	44
6.4	TESTE DE SPEARMAN	45
6.5	TESTE DE PEARSON	47
7	CONCLUSÕES	57

8	RECOMENDAÇÕES.....	58
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	59
	ANEXO 1.....	65

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

A intensificação e a escalabilidade das atividades produtivas do agronegócio são imprescindíveis para a viabilidade dos atuais modelos de negócio desse setor da economia e até mesmo na repercussão que geram nos números da economia do país. Se por um lado temos o incremento nos indicadores de produtividade, por outro surgem as demandas resultantes pelos impactos ambientais que esse desenvolvimento traz. Nesse sentido, todos os novos recursos, tecnologia e conhecimento gerados precisam chegar ao início da cadeia, de modo que agreguem valor ao processo produtivo, como apontado por Piccoli (2021).

Um dos sistemas de cultivo de alto desempenho é a aquaponia, que é um meio de produção agroecológica que agrega as atividades aquícolas e hidropônicas de maneira sinérgica e promove o reúso da água, assume papel de promotora da produção sustentável, da segurança alimentar e nutricional, assim como, da conservação dos recursos hídricos (CORRÊA, 2018). A maior parte dos sistemas aquapônicos ainda é de pequeno porte e visa a produção de subsistência. Sistemas aquapônicos de larga escala requerem cuidadosas considerações, entre estes: a viabilidade financeira, o custeio de insumos (ração de peixes, construções e suprimento em canos), o custo e a disponibilidade de energia elétrica e o acesso direto a mercado significativo que pague um valor adequado por vegetais locais livres de pesticidas (FAO, 2016).

Embora apresente várias vantagens comparativas com relação aos métodos tradicionais de produção de organismos aquáticos em sistemas de recirculação, ainda é preciso envidar esforços para superar vários gargalos tecnológicos relacionados à implantação e funcionamento dos sistemas de aquaponia (QUEIROZ, 2016), requer monitoramento constante e mão de obra qualificada, onde imprecisões e tempo incorreto de tomada de decisões podem acarretar prejuízos e até a inviabilidade da operação desses sistemas intensivos.

A tecnologia vem sendo cada vez mais incorporada para auxiliar nas atividades do campo, uma dessas aplicações de tecnologia na agricultura é a utilização de sensores para monitoramento de plantações. Um possível caminho para realizar esse sensoriamento é a plataforma Arduino, que oferece os mais

diversos tipos de sensores, visando essa finalidade (GOMES, 2014), que é uma placa de circuito microcontrolador para desenvolvimento de protótipos eletrônicos com um software desenvolvido por meio de uma linguagem de programação (QUEIROZ, 2018).

Projetos nesse sentido já foram elaborados, em especial na coleta de dados como o proposto por Santos (2020), onde foi possível desenvolver o sistema automatizado para análise e monitoramento da água, utilizando a plataforma Arduino Mega e sensores de temperatura e pH em que os resultados obtidos nos testes demonstraram boa acurácia e precisão. Siqueira (2019), discorre sobre a importância do emprego dessas ferramentas para auxiliar o piscicultor ou operador nas atividades de manutenção dos viveiros, devido à praticidade de avaliação dos parâmetros de qualidade da água.

Nesse estudo pretende-se determinar de forma automatizada as concentrações de amônia não ionizada (NH_3) que pode se tornar tóxica em sistema intensivo de criação de peixes, por meio do desenvolvimento de equipamento e software de baixo custo; gerar banco de dados com as leituras para posterior análise dos dados coletados e sugestão das medidas preventivas ou corretivas a serem adotadas.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar e validar o desenvolvimento e usabilidade de equipamento de monitoramento automatizado de amônia inorgânica em sistemas de piscicultura intensiva com base em plataformas de desenvolvimento Arduíno por método indireto.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a curva de calibração do equipamento com base no método colorimétrico utilizando reagentes disponibilizados em kits comerciais;
- Validar a metodologia de obtenção indireta análise laboratorial pelo método de determinação de nitrogênio amoniacal por colorimetria (PE FQ 116);
- Desenvolver software para interagir com o equipamento na linguagem Python;
- Implementar banco de dados com base na coleta das leituras feitas pelo equipamento para posteriores análises;
- Validar o sistema como ferramenta de base para tomada de decisão em relação as medidas preventivas ou corretivas a serem adotadas.

3 JUSTIFICATIVA

A aplicação prática desse trabalho está em desenvolver ferramentas de tecnologia, baseado em hardware projetado para prototipagem e software livre que facilitem, agilizem e forneçam subsídios para os processos decisórios nos sistemas produtivos do agronegócio, no caso específico ao segmento da aquaponia, ao menor custo sob o aspecto de tecnologia por se tratar de equipamentos destinados a prototipagem que são produzidos em larga escala e possibilitam grande flexibilidade na sua aplicação.

Sob o ponto de vista do manejo por fornecer informações de qualidade que possibilitem a aplicação das melhores práticas de manejo; no menor tempo possível pela possibilidade de obter as informações em tempo de execução do protótipo sem a necessidade de espera por resultados laboratoriais e com a maior acurácia, pois elimina-se o fator humano em possíveis erros de leitura ou aplicação de metodologias considerando a tecnologia disponível, e que diretamente beneficia práticas ambientalmente adequadas.

A aplicação teórica está relacionada ao conteúdo produzido, seja pela base de dados que pode subsidiar diversos outros trabalhos, seja pelas possíveis interações observadas e as possibilidades de novas abordagens de monitoramento de parâmetros.

A viabilidade de realização do trabalho ocorre pela facilidade de acesso e disponibilidade de recursos materiais e técnicos, seja por recursos próprios ou disponibilizados pela universidade.

4 REVISÃO TEÓRICA

4.1 A AQUAPONIA

Produção em escala e aumento de intensidade nas operações do agronegócio são imprescindíveis para a viabilidade dos atuais modelos de negócio do setor, muito além do impacto que geram nos números que impulsionam a economia do país. Dentre as atividades do agronegócio, a aquicultura toma corpo significativo na parcela de produção de proteína de origem animal, conforme Fogaça (2020). O Brasil já foi considerado o país com maior potencial para o desenvolvimento da pesca e aquicultura. Hoje, ocupa apenas a 13ª posição na produção de peixes em cativeiro, e é o 8º na produção de peixes de água doce. Segundo Medeiros et al (2022), o Brasil produziu 860 mil toneladas de peixes de cultivo (tilápia, peixes nativos e outras espécies), em 2022, o resultado representa um aumento de 2,3% sobre a produção de 2021, sendo que a piscicultura representa a atividade de produção animal que mais cresce nos últimos anos.

Na aquicultura temos uma variedade de sistemas de produção, mas via de regra são sistemas intensivos, e um desses sistemas é a aquaponia. A palavra “aquaponia” é derivada da combinação entre “aquicultura” (produção de organismos aquáticos) e “hidroponia” (produção de plantas sem solo) e refere-se à integração entre a criação de organismos aquáticos, principalmente peixes, e o cultivo de vegetais hidropônicos (CARNEIRO, 2015).

Ainda conforme Carneiro (2015), a aquaponia preconiza a reutilização total da água, evitando seu desperdício e diminuindo drasticamente, ou até eliminando, a liberação do efluente no meio ambiente. O volume de água necessário para um sistema de aquaponia é muito baixo se comparado aos sistemas tradicionais de agricultura e aquicultura. Uma vez abastecido e em funcionamento, um sistema de aquaponia pode ficar por tempo indefinido sem a necessidade de troca de água, sendo necessária somente a reposição da água perdida pela evaporação e pelas colheitas. Para serem viáveis economicamente, sistemas de recirculação de água e nutrientes na criação de peixes geralmente são desenhados para sustentarem altas densidades, atingindo capacidades de estocagem superior a cem quilos de peixe por metro cúbico de água (100 kg/m³) (CERQUEIRA, 2020).

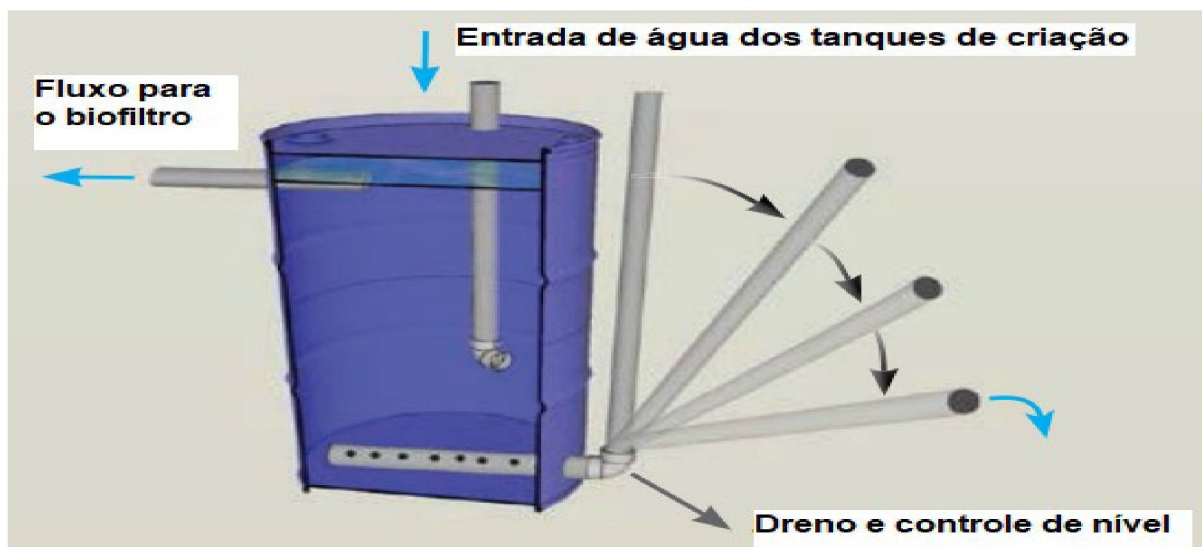
Conforme Carneiro (2015), em sistemas aquapônicos de pequeno porte, nos quais são utilizadas densidades de estocagem de peixes inferiores a 10 kg/m^3 são utilizados tanques ou caixas entre 100 L e 1.000 L (FIGURA 1), e em sistemas que possuem estocagem acima de 10 kg/m^3 , é necessária a retirada constante dos resíduos sólidos. Resíduos mais densos podem ser separados por algum aparato de filtração que promova sua sedimentação, que podem ser construídos em alvenaria ou reaproveitando tambores plásticos (FIGURA 2).

FIGURA 1 - MODELO DE SISTEMA DE AQUAPONIA COM CAMAS DE CULTIVO



FONTE: Adaptado de SOMERVILLE et al., 2014.

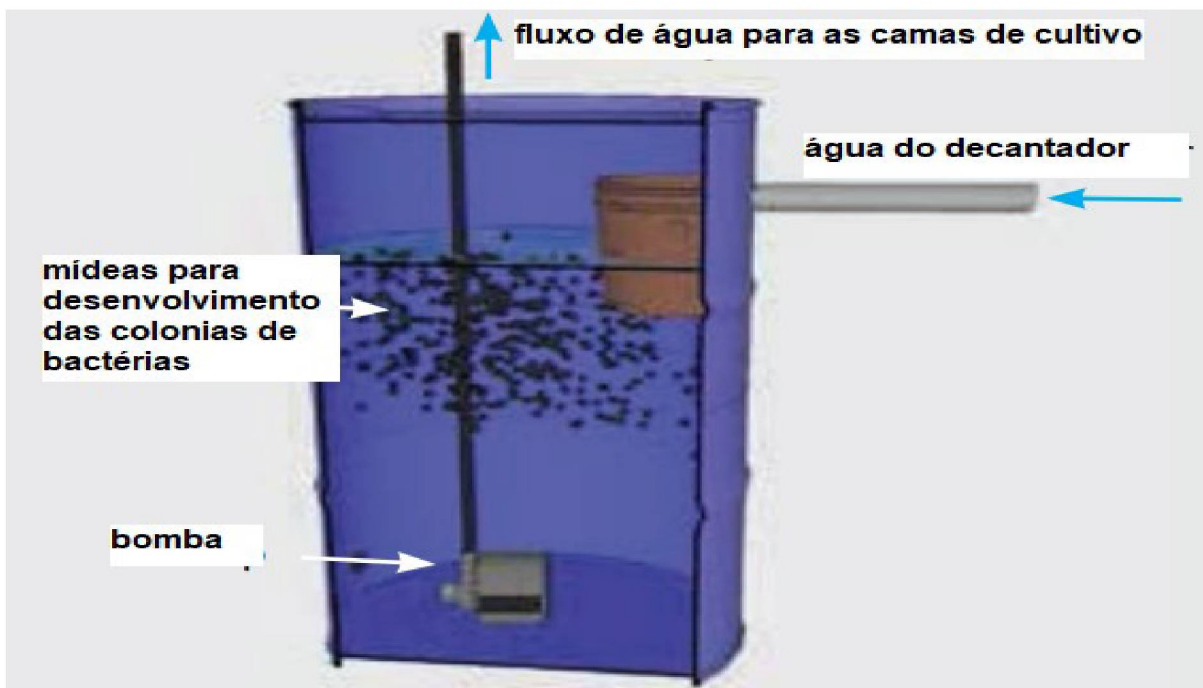
FIGURA 2 - FILTRO DE SÓLIDOS POR DECANTAÇÃO EM CORTE VERTICAL



FONTE: Adaptado de SOMERVILLE et al., 2014.

Após o processo de filtragem mecânica por decantação, o fluxo de água segue para um segundo filtro mecânico para uma nova sedimentação ou segue direto para o tanque de filtragem biológica que na maioria dos casos serve também como reservatório para bombeamento também chamado de sump e geralmente preenchido com um material suporte que possibilite a fixação e colonização de bactérias nitrificadoras, que promovem a oxidação da amônia a nitrato (FIGURA 3). Há uma série de materiais suportes com potencial para serem utilizados nos biofiltros, sendo os mais comuns a areia grossa, cascalho, brita, esferas ou cilindros de plástico e flocos de isopor (KUBITZA, 2006).

FIGURA 3 - MODELO DE FILTRO BIOLÓGICO EM CORTE VERTICAL



FONTE: Adaptado de SOMERVILLE et al., 2014.

4.2 QUALIDADE DA ÁGUA E MONITORAMENTO

O sistema produtivo adotado poderá gerar maiores ou menores interferências ambientais, conforme sua concepção. Estes sistemas podem, de forma simplista, ser reunidos em: função de produtividade – extensivo, semi-intensivo ou intensivo; número de espécies envolvidas – monocultura ou policultura; e compartilhamento – consórcio com outras espécies que não aquelas exclusivamente aquáticas (OLIVEIRA, R. C., 2009).

Alguns dos sinais que indicam a falta de sustentabilidade de um empreendimento aquícola são: inexistência de monitoramento da qualidade da água,

episódios agudos de mortalidade decorrentes de deterioração da qualidade da água, falta de percepção quanto à importância da implantação de boas práticas de produção e de reestruturação da produção dentro da capacidade das instalações e do meio ambiente em que o empreendimento está inserido (KUBTIZA, 2010).

De acordo com Mallasen et al. (2008) e Franco (2018), os resíduos gerados na criação, constituídos por alimentos não ingeridos e produtos do metabolismo dos peixes, liberados no ambiente aquático, aumentam principalmente a concentração de nitrogênio e de fósforo na água. Quando a concentração de amônia aumenta na água de cultivo, a excreção deste metabólito nos organismos aquáticos diminui. Por conseguinte, há um aumento na concentração interna de amônia total, que excede as concentrações toleradas pelos organismos aquáticos e pode levar à mortalidade, conforme Arana (2010) e Zadinelo (2018).

4.3 AMÔNIA

Segundo Pereira (2005), a criação de peixes, apesar de integralmente dependente da utilização de água sem poluentes, é uma atividade que causa degradação da qualidade da água, a principal fonte de compostos nitrogenados incorporados à água é a alimentação. A concentração de amônia livre (NH_3), ou seja, a amônia tóxica, é função da concentração de nitrogênio amoniacal (Amônia Total), do pH e da temperatura, por isso é fundamental manter a operação do sistema de forma que o nível de amônia livre seja mantido baixo (CERQUEIRA, 2020), como demonstrado na TABELA 1.

TABELA 1 - PORCENTAGEM DE ANI EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E pH DA ÁGUA

pH	Temperatura da água (°C)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7.0	0,30	0,34	0,40	0,46	0,52	0,60	0,70	0,81	0,95
7.4	0,74	0,86	0,99	1,14	1,30	1,50	1,73	2,00	2,36
7.8	1,84	2,12	2,45	2,80	3,21	3,68	4,24	4,88	5,72
8.2	4,49	5,16	5,94	6,76	7,68	8,72	10,00	11,41	13,22
8.6	10,56	12,03	13,68	15,40	17,28	19,42	21,83	24,45	27,68
9.0	22,87	25,57	28,47	31,37	34,42	37,71	41,23	44,84	49,02

FONTE: Canastra (2017).

A formação de amônia em um sistema aquático, depende do pH e da temperatura da água. Por exemplo em pH maior que 9 e numa temperatura superior

a 26 °C a reação ocorre no sentido da formação da amônia não ionizada (TRUSSEL(1972), in ESTEVES 1998)).

De acordo com Kubitzka (1999), valores de amônia não ionizada acima de 0,20 mg/L já são suficientes para induzir toxicidade crônica e levar à diminuição do crescimento e da tolerância dos peixes a doenças. Níveis de amônia entre 0,70 e 2,40 mg/L podem ser letais para os peixes, quando expostos por curto período.

A partir do início da implantação de um sistema aquapônico, ocorre uma dinâmica característica com relação a estabilização das colônias de bactérias envolvidas nos processos de transformação do nitrogênio no ambiente do sistema. À medida que as bactérias nitrificadoras iniciam sua atividade a tendência é de uma redução no pH da água, e esse processo se estabiliza por volta dos 40 dias a partir da implantação (ANTONIELLO, 2020).

A concentração de nutrientes, oxigênio e gás carbônico dissolvidos na água influenciam na dinâmica da concentração de amônia, variando ao longo do dia e da noite, podendo haver incremento importante nos prejuízos energéticos, sobretudo no referente aos gases tóxicos como a amônia e o ácido sulfídrico, conforme aponta Arana (2002).

A conversão da amônia (NH_3) em nitrito (NO_2^-) e este em nitrato (NO_3^-) é feita principalmente por bactérias nitrificantes dos gêneros *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, que combinado a remoção de N promovido pelas plantas no sistema, especialmente nas formas de NH_4 e (NO_3^-), propiciam a renovação da qualidade da água nesse quesito (CARNEIRO, 2015).

A determinação da amônia envolve ensaios de laboratório, soluções ácidas e ambiente controlado, o que dificulta o monitoramento constante. Existem disponíveis no mercado testes “rápidos” que utilizam uma sequência de reagentes e a utilização de tabelas e gráficos para determinar de forma aproximada os valores de amônia.

Queiroz (2008) propõem ainda outra metodologia para o cálculo de NH_3 , onde são considerados a produção esperada de peixes, o volume do viveiro, a quantidade total de ração fornecida durante o ciclo de cultivo e o teor de N contido na ração. Essas variáveis são necessárias para se obter o fator de multiplicação aplicado à Tabela 1.

De qualquer forma, é necessário a tomada de leitura de parâmetros. Um possível caminho para realizar esse sensoriamento é a plataforma Arduino, que oferece os mais diversos tipos de sensores, visando essa finalidade, e que devido ao

baixo custo da plataforma, estes projetos podem atender produtores de pequeno, médio e grande porte (GOMES et al, 2017).

4.4 DISPOSITIVOS DE PROTOTIPAGEM

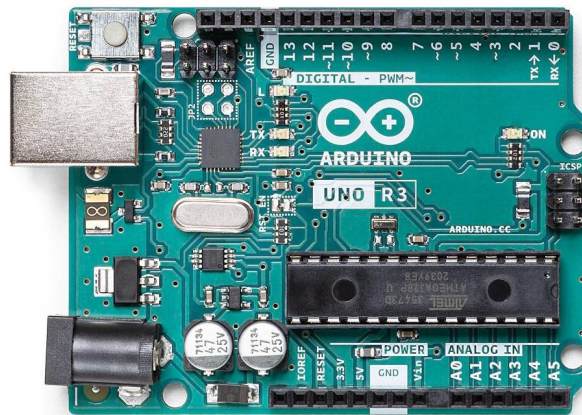
Atualmente existem diversas plataformas de desenvolvimento para prototipagem eletrônica e programação como Raspberry PI, Arduino e inúmeras variantes. A plataforma embarcada Arduíno surgiu na Itália em 2005 e trata-se de uma pequena placa que possui um microcontrolador que pode ser programado com o uso de softwares de código aberto. Possui entradas digitais e analógicas que recebem sinais de diversos sensores e suas saídas podem enviar sinais para diversos componentes eletrônicos. É uma alternativa de menor custo para ser utilizada em diversos projetos de automação e robótica (SILVA et al., 2014).

A plataforma Arduino possui ainda um microcontrolador capaz de desenvolver inúmeras aplicações de controle, automação e interatividade; seu hardware e software de fácil utilização é compatível com diversos sistemas operacionais (CUNHA, 2015). A construção em uma placa única com um microcontrolador (microcomputador de um único circuito, onde é processado o código desenvolvido) é seu grande diferencial. Estas placas são capazes de ler entradas por meio de sensores e botões e emitir sinais de saída para atuadores.

A plataforma usa um Microcontrolador ATMEGA com a função de receber e entregar o fluxo de informações de maneira controlada por uso de software. A plataforma e arquivos são licenciados pela *Creative Commons*¹ que permite tanto uso pessoal, bem como comercial e obras derivadas, desde que seja dado crédito ao Arduino e liberação de seus projetos sob a mesma licença (SILVA et al., 2014). A FIGURA 4 mostra um Arduino do modelo UNO R3.

1 Creative Commons é uma organização sem fins lucrativos e não governamental, com sede nos EUA, que tem por objetivo gerenciar licenças de cópia, uso e compartilhamento menos restritivos que os termos de “todos direitos preservados”.

FIGURA 4 - ARDUINO UNO R3



FONTE: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3?selectedStore=us>

O Arduino Software é a IDE (ambiente integrado de desenvolvimento, em tradução livre) utilizada para o desenvolvimento das aplicações. Além disso, possui uma interface amigável ideal para iniciantes em programação, mas também uma flexibilidade para usuários experientes (KIANE, 2019).

Atualmente existem muitos modelos e versões dessa plataforma como o Arduino MEGA 2560, variando capacidade de armazenamento, processamento, quantidade de portas de comunicação e funcionalidades, bem como uma infinidade de sensores e periféricos desenvolvidos para aplicações em prototipagem.

No entanto, as plataformas por si só não são suficientes para obter os resultados esperados, é preciso programá-las. A linguagem de programação C usada no Arduino é um subconjunto da linguagem C padrão, entretanto realiza a maioria das tarefas que o usuário necessitar, como descreve Gomes (2017).

Quanto aos sensores disponíveis para desenvolvimento de projetos com base no Arduino, a quantidade e variedade disponíveis é bastante grande, para contextualizar, os sensores de temperatura LM35, DS18B20 e DHT11 são bastante comuns. Entretanto é preciso atentar-se à características específicas como a possibilidade de imersão em líquidos disponível apenas no modelo DS18B20 (LOCATELI, 2022).

Segundo Antonioli (2020), a utilização de um sistema de controle de parâmetros em um sistema de aquaponia a partir de um protótipo baseado na plataforma Arduino permitiu a otimização no manejo e eficiência produtiva no modelo

principalmente por conta de oscilações de parâmetros como pH e turbidez nas diferentes épocas do ano.

4.5 COMUNICAÇÃO ENTRE HARDWARE E SOFTWARE

A comunicação máquina a máquina, também conhecida como Internet das Coisas (Internet of Things – IoT), refere-se a tecnologias que permitem a comunicação entre diferentes dispositivos possibilitados principalmente pela Internet, e tem seu conceito baseado em três paradigmas: rede de dispositivos interconectados; sensores e dispositivos de comunicação e aplicações que permitem o tratamento, concentração e distribuição de dados (FAROOQ, 2015).

A troca ou compartilhamento de informações entre dois ou mais equipamentos estabelece uma rede de comunicação, e essa conexão não precisa ser necessariamente feita por fios ou cabos, ela pode ser estabelecida por meios não fisicamente atrelados como ondas de rádio, micro-ondas ou infravermelho por exemplo, e pode ainda ser composta utilizando mais de uma forma de conexão na extensão de uma rede (TANENBAUM, 2003).

O processo de obtenção de dados em um sistema informatizado passa por etapas como a coleta, o armazenamento, a recuperação e o processamento, e entre as etapas acontece a comunicação e transporte que seguem padrões pré-definidos chamados de protocolos. Para Santos (2021), os protocolos de comunicação são definidos como um conjunto de normas e procedimentos para iniciar, manter e concluir uma comunicação entre dois pontos, garantindo que esta troca de informações ocorra de forma ordenada e sem erros. Segundo Neto (2019), um dos mais importantes grupos de protocolos é o Protocolo de Controle de Transmissão/Protocolo de Internet (Transmission Control Protocol/Internet Protocol – TCP-IP) que fornece não somente os protocolos que habilitam a comunicação de dados entre redes, mas também define uma série de aplicações que contribuem para a eficiência e sucesso da arquitetura. Entre os serviços mais conhecidos da Internet estão o correio-eletrônico (protocolos SMTP, POP3), a transferência de arquivos (FTP), o compartilhamento de arquivos (NFS), a emulação remota de terminal (Telnet), o acesso à informação hipermídia (HTTP) conhecido como WWW (World Wide Web), que incluem as requisições HTTP para acesso a bancos de dados remotos, assim como os protocolos cliente servidor SSH.

Já a comunicação entre hardwares de diferentes arquiteturas pode utilizar outros protocolos, em geral com base nos padrões serial ou paralela. No caso da comunicação entre um computador e uma placa Arduino mediante adaptador USB-Serial, o protocolo mais comumente utilizado é o RS 232, nele o pino de transmissão (Tx) do protocolo envia um pacote de bits contendo 1 start bit + 8 bits de dados + 1 stop bit que será interpretado bit a bit pelo pino receptor, sua maior vantagem está na maior distância que é capaz de atingir em comparação a outros protocolos (Hagborg, 2023).

4.6 ARMAZENAMENTO DE DADOS

De forma resumida, Date (2004) descreve um banco de dados como uma coleção de dados armazenados de forma persistente e que podem ser manipulados por sistemas de aplicações. A persistência no seu armazenamento é relativa, pois esses dados podem ser armazenados por curto período de tempo e descartados após utilização da alguma finalidade específica, ou mantidos em armazenamento por período de tempo indefinido.

A operação do banco de dados e a manipulação dos dados nele contidos é feito por meio de um Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados – SGBD, cuja metodologia de operação aplicada depende da arquitetura do banco de dados. Ainda segundo Date (2004), dois grupos de bancos de dados se destacam, o primeiro abrangendo os bancos de dados relacionais, que utilizam estrutura linear em formato de linhas e colunas, com tipagem de dados considerada forte onde um campo que foi configurado para receber dados do tipo números não pode receber dados de outro tipo, e tendo como principal característica a possibilidade de vinculação entre campos de tabelas estabelecendo o conceito de relacionamento. Predominantemente a linguagem utilizada na manipulação desse tipo de banco de dados é a Linguagem de Consulta Estruturada (Structured Query Language – SQL) de paradigma declarativo.

Para Garcia (2019), os principais problemas encontrados no modelo relacional, após o crescimento exponencial de dados, estão principalmente na dificuldade de conciliar o tipo de modelo com a demanda da escalabilidade. Nesse sentido os bancos de dados Não Apenas Relacionais (Not Only Structured Query Language – NoSql) apresentam algumas características fundamentais que os

diferenciam dos tradicionais sistemas de bancos de dados relacionais, tornando-os adequados para armazenamento de grandes volumes de dados não-estruturados ou semiestruturados, e como seu modelo base de estruturação se dá por um par de chave-valor, onde a chave pode ser utilizada como indexador e o valor pode ser atribuído como um objeto sem necessariamente possuir uma tipagem para ser incorporado, esse tipo de banco de dados apresenta algumas características interessantes para o uso com um grande volume de dados como esquema flexível, escalabilidade horizontal, regras de acesso simplificadas e transações simultâneas já que pode ser implementado de forma descentralizada.

Conforme OSTI (2021), quando a abordagem se dá em relação à infraestrutura de implementação, é muito comum que a aplicação de banco de dados utilize servidores físicos locais, conhecido também como “On Premise”, que pode ser constituído de um simples computador até complexos e elaborados sistemas de servidores. Como alternativa mais recente se tem adotado o compartilhamento de vários recursos computacionais por meio da Internet conhecido como “computação em nuvem”, que oferta serviços como máquinas virtuais, banco de dados, armazenamento, e até serviços de inteligência artificial.

Com esse tipo de infraestrutura é possível fornecer informações e serviços para qualquer lugar do mundo, sendo possível utilizar todos os recursos computacionais sem precisar saber como essa tecnologia está funcionando. Dessa forma, o cliente precisa apenas se preocupar em utilizar os recursos disponíveis.

4.7 APLICAÇÃO

Um sistema informatizado pode ser composto de diversas partes a depender do nível de integração entre máquinas e humanos, e em geral, é possível fragmentar e classificar esses softwares, também conhecidos como aplicações em grupos relacionados na escala de distância das linguagens de máquina e das linguagens inteligíveis pelos humanos. Linguagens de alto nível como Python apresentam características como facilidade na leitura, compreensão e manutenção do código, possui sintaxe clara e concisa e por atuar com interpretadores desenvolvidos em C e C++ que são base para a maioria dos contextos computacionais existentes atualmente, possui aplicação em praticamente todas as plataformas. A grande quantidade de bibliotecas disponíveis possibilita abranger desde aplicações que

estruturam códigos contendo as regras de negócios, operações nos bancos de dados até interfaces com usuários como desktop, web e mobile (CAMPOS, 2018).

Aplicações ou programas backend também chamadas de servidoras são responsáveis pelo armazenamento e/ou processamento e fornecer dados para que outras aplicações possam consumir esses dados de diversas formas. É nesse tipo de aplicação que se encontra toda a estrutura de regra de negócios principalmente pelo motivo de que a capacidade computacional disponibilizada para esse fim ser bastante superior quando comparado com as aplicações chamadas de cliente ou frontend, que rodam no equipamento do usuário como uma página web em um notebook ou aplicativos móveis em smartphones (SILVA, 2017).

Segundo Barbosa (2022), softwares em geral seguem padrões de arquitetura, que são planos com regras a seguir para solucionar problemas recorrentes e tornar a criação de software mais fácil e eficiente. Esses padrões evoluíram ao longo dos anos, sendo os quatro padrões mais utilizados o MVC, MVP, MVVM e MVI. O MVC, que consiste em três camadas: Model, View e Controller. O Controller gerencia a lógica e o comportamento dos dados, enquanto a View representa os dados para o usuário e a Model gerencia as operações e requisições. O MVC tem vantagens como facilidade de manutenção, teste e atualização, escalabilidade e modularidade, mas pode ser menos adequado para projetos grandes e complexos.

O padrão de arquitetura de software Model-View-Presenter (MVP), criado em 1996 pela Taligent, que tem como objetivo facilitar testes automatizados e melhorar a separação de interesses. É uma evolução do conceito do MVC, dividindo as responsabilidades em quatro componentes: View, Presenter, Presenter Interface e Model. A View apresenta os elementos da interface de usuário e captura as ações do usuário, o Presenter controla a interação entre a View e o Model, a Presenter Interface desacopla a View do Presenter, e o Model gerencia os comportamentos de negócio e o estado. A interface do Presenter facilita os testes na View e a separação de interesses permite um gerenciamento eficiente dos dados e da interface de usuário, com melhor modularização do sistema (IVANOVICH et al., 2019).

O padrão MVVM foi criado em 2005 para simplificar a programação de interfaces de usuário. É composto por três elementos: Model, View e ViewModel. A camada ViewModel coordena as operações entre a View e a camada Model e é otimizada para testes de unidade e desenvolvimento multiplataforma. As classes ViewModel não têm dependências sobre a camada de interface do usuário,

permitindo interoperabilidade entre sistemas distintos com mudanças mínimas na estrutura do código.

O padrão de arquitetura Model-View-Intent (MVI), criado por André Staltz em 2014, que introduz dois novos conceitos: a intenção e o estado. O MVI é separado em três camadas: Model, View e Intent, sendo que a camada Intent é responsável por capturar a entrada do usuário e traduzi-la em algo que será passado como parâmetro para o Model. (MUNAWAR; WAHYU, 2020).

5 METODOLOGIA

5.1 LOCAL DA PESQUISA

O estudo ocorreu em duas etapas, sendo um estudo preliminar e um estudo principal. Para ambos os estudos a coleta de dados foi feita em um sistema de aquaponia de cunho privado não comercial e de subsistência na cidade de Cascavel-PR. A espécie de peixes cultivada foi a tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*), e os cultivos vegetais das camas de cultivo foram compostos de alface (*Lactuca sativa*) e agrião (*Nasturtium officinale*). O volume total do sistema em plena operação é de 2500 litros, com densidade de 30 indivíduos na fase juvenil por tanque de volume individual de 1m³ de água, pesando em média 83 gramas e medindo 13 cm em média no estudo preliminar e 80 gramas e 12 cm em média no estudo principal. O protocolo alimentar adotado em ambos os estudos foi o proposto por Marchiori (2018) que considera o peso vivo médio e a temperatura ambiente para determinar o volume de ração a ser administrado (TABELA 2).

TABELA 2 - PROGRAMA DE ARRAÇOAMENTO EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E PESO VIVO

PV (g)	Temperatura 16-20 C		Temperatura 20-24 C		Temperatura 24-26 C		Granulometria (mm)	Proteína Bruta %
	% PV	Ref/dia	% PV	Ref/dia	% PV	Ref/dia		
1	3,0	2	9,0	2	12,0	4	< 1	> 40
5	2,0	2	6,0	2	8,0	4	1,5	> 40
10	1,6	2	4,8	2	6,4	4	2	> 40
30	1,2	2	3,6	2	4,8	4	3	> 36
50	1,0	1	3,0	2	4,0	4	4	> 32
75	0,8	1	2,4	2	3,2	3	4	> 32
100	0,7	1	2,1	2	2,8	3	4	> 32
150	0,6	1	1,8	2	2,4	3	4	> 32
200	0,6	1	1,7	2	2,2	2	4	> 32
250	0,5	1	1,5	2	2,0	2	6	> 32
300	0,4	1	1,3	2	1,8	2	6	> 28
400	0,4	1	1,2	2	1,6	2	6	> 28
500	0,4	1	1,1	2	1,4	2	6	> 28
600	0,3	1	0,9	2	1,2	2	8	> 28
>800	0,2	1	0,6	2	0,8	2	8	> 28

PV (g)	Temperatura 26-30 C		Temperatura 30-32 C		Temperatura <16- >32 C		Granulometria (mm)	Proteína Bruta %
	% PV	Ref/dia	% PV	Ref/dia	% PV	Ref/dia		
1	15,0	6	12,0	4	0	0	< 1	> 40
5	10,0	6	8,0	4	0	0	1,5	> 40
10	8,0	6	6,4	4	0	0	2	> 40
30	6,0	4	4,8	4	0	0	3	> 36
50	5,0	4	4,0	4	0	0	4	> 32
75	4,0	4	3,2	4	0	0	4	> 32
100	3,5	4	2,8	3	0	0	4	> 32
150	3,0	3	2,4	3	0	0	4	> 32
200	2,8	3	2,2	3	0	0	4	> 32
250	2,5	3	2,0	2	0	0	6	> 32
300	2,2	2	1,8	2	0	0	6	> 28
400	2,0	2	1,6	2	0	0	6	> 28
500	1,8	2	1,4	2	0	0	6	> 28
600	1,5	2	1,2	2	0	0	8	> 28
>800	1,0	2	0,8	2	0	0	8	> 28

FONTE: Marchiori, 2018

Para os dois estudos o manejo das folhosas foi idêntico, as mudas foram introduzidas no sistema com cerca de 25 dias após germinação e colhidas assim que atingiram o ponto de consumo por volta dos 30 dias de cultivo, sendo substituídas escalonadamente por novas mudas durante todo o período de cultivo dos peixes. A estrutura é de cultivo intensivo de tilápias com recirculação no sistema de “aquaponia”, composto por dois tanques de criação de tilápias com volume de 1000 litros cada, decantador de sólidos de 150 litros, filtro biológico de 150 litros, reservatório de bombeamento (SUMP) de 200 litros, camas de cultivo estáticas com volume de 20 litros, camas de cultivo tipo “NFT” – (Nutrient Film Technique) suspensas com 30 metros lineares e capacidade para até 120 unidades de plantas, bombas de água submersa, sendo uma bomba com vazão de recalque de 3000

litros/hora para oxigenação forçada com injetor tipo “samuca” e uma bomba com capacidade de recalque de 6000 litros que alimenta o sistema de hidroponia incorporado ao sistema (IMAGEM 1).

IMAGEM 1 - SISTEMA DE AQUAPONIA COM RECIRCULAÇÃO TOTAL



FONTE: O autor (2023)

5.2 AMÔNIA

Para possibilitar o estudo comparativo, as metodologias utilizadas para obtenção dos valores de NH_3 foram estruturadas em tratamentos, como descrito a seguir:

Tratamento 1 (T1) – Determinação do valor da amônia através do método de reagentes, seguindo orientação fornecido com o kit do fabricante LabconTest (FIGURA 5), com os seguintes reagentes: fenol nitroprussiato de sódio, hidróxido de sódio, hipoclorito de sódio em diluição com álcool isopropílico e água destilada;

FIGURA 5 - KIT DE TESTE PARA AMÔNIA TÓXICA



FONTE: O autor (2023)

Tratamento 2 (T2) - Determinação de nitrogênio amoniacal, no total de seis amostras, coletadas semanalmente duas, com uma das amostras coletadas na parte da manhã e outra na parte da tarde do mesmo dia e encaminhadas para análise em laboratório para determinação da amônia na água do sistema pelo método PE FQ 116 por colorimetria. Essas, pela precisão possível em laboratório, foram balizadoras para aferição da precisão, acurácia e validação dos resultados do tratamento 3 e para efeito comparativo com o tratamento 1.

Tratamento 3 (T3) - Determinação da concentração da amônia pelo equipamento protótipo em avaliação, que efetuou as leituras de pH e temperatura da água do sistema de cultivo a cada 5 minutos sendo necessário o tempo de 1 minuto de estabilização das sondas a cada leitura. Com os dados da leitura, fez-se as interpolações das concentrações da TABELA 3 proposta por Boyd, Tucker (1992). O resultado obtido nos cálculos de interpolação foi multiplicado pelo fator de multiplicação obtido pelo roteiro proposto por Queiroz (2008), doravante denominado “Fator N”, que considera o final do ciclo de cultivo para seu cálculo, da seguinte forma:

$$FatorN = (Nin * Pmi * Nmi) / (MBt * Cam * Nmr)$$

onde,

Fator N = Valor de nitrogênio total acumulado no sistema

Nim = Número de indivíduos no sistema

Pmi = Peso médio dos indivíduos

Nmi = Valor médio de nitrogênio na massa biológica

Mbt = Massa biológica total acumulada

Cam = Conversão alimentar média atribuída

Nmr = Valor de nitrogênio médio no acumulado do arraçoamento

Aplicando-se os valores para o final do período de cultivo como proposto temos, Fator N = (30 indivíduos x 500 gramas em média na despesca = 15 kg) x (N médio de 2,31%) = 0,35 kg de N), subtraídos de (kg de massa biológica de peixes (15 kg) x fator de conversão alimentar média admitida de 1,5 = 22,5 kg de ração) x percentual de N (7%) = 1,57 kg de N), totalizando 1,23 kg de N por tanque (x 2 tanques = 2,46) / volume de água em litros do sistema (aproximadamente 2500 litros) = **1g N/litro** no sistema de cultivo no pior cenário para o acumulado final para 180 dias, estimados para o final do ciclo de cultivo.

Dessa forma têm-se o valor percentual (Fator N) a ser aplicado a uma concentração de nitrogênio total ao final do ciclo de cultivo, e serve apenas para momento que corresponde ao final do ciclo de cultivo, pois esta considerando a biomassa final dos peixes e o volume total final de ração adicionada ao sistema. No entanto, no presente estudo sugerimos que o valor para o Fator N possa ser determinado em qualquer ponto do ciclo em que se deseja usar a metodologia do Tratamento 3, desde que os valores das variáveis de N incorporado pela biomassa dos peixes e N incorporado pelo arraçoamento sejam ajustadas para o momento do ciclo para o qual se deseja obter o valor para esse Fator N de multiplicação, logo, considerando os dados para o dia 1 do estudo, tem-se:

Fator N dia 1 = (N incorporado pela biomassa dos peixes = (30 indivíduos x 80 gramas em média = 2,4 kg) x (N médio de 2,31%) = 0,0231 kg de N), subtraídos de (**N incorporado pelo arraçoamento** = (kg de massa biológica de peixes (2,4 kg) x fator de conversão alimentar média admitida de 1,5 = 3,6 kg de ração) x percentual

de N (7%) = 0,252 kg de N), totalizando 0,228 kg de N por tanque (x 2 tanques = 450 g de N) / volume de água em litros do sistema (aproximadamente 2500 litros) = 0,18g N/litro no sistema de cultivo para o acumulado do dia 1.

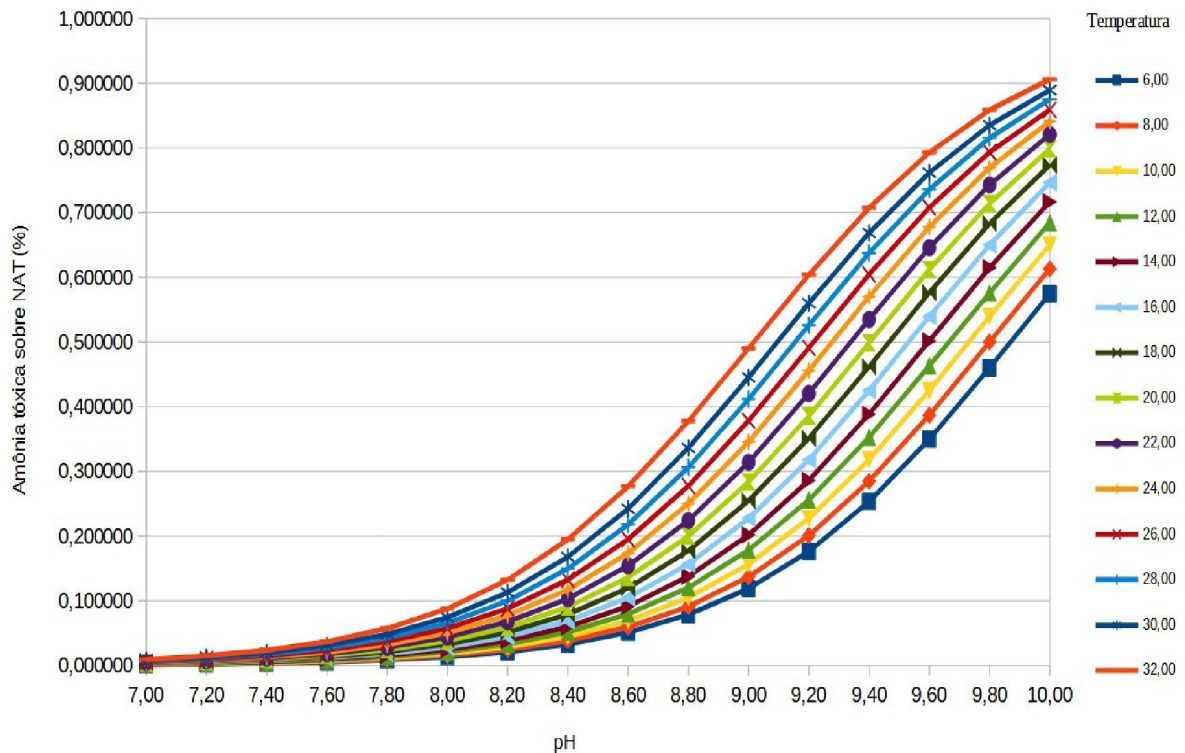
TABELA 3 - PORCENTAGEM DE AMÔNIA (NH₃) DO NITROGÊNIO AMONIAICAL TOTAL PRESENTE EM SOLUÇÃO AQUOSA, EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA E DO pH (BOYD, TUCKER, 1992, APUD QUEIROZ, 2008)

pH	Temperatura (°C)								
	16	18	20	22	24	26	28	30	32
7,0	0,30	0,34	0,40	0,46	0,52	0,60	0,70	0,81	0,95
7,2	0,47	0,54	0,63	0,72	0,82	0,95	1,10	1,27	1,50
7,4	0,74	0,86	0,99	1,14	1,30	1,50	1,73	2,00	2,36
7,6	1,17	1,35	1,56	1,79	2,05	2,35	2,72	3,13	3,69
7,8	1,84	2,12	2,45	2,80	3,21	3,68	4,24	4,88	5,72
8,0	2,88	3,32	3,83	4,37	4,99	5,71	6,55	7,52	8,77
8,2	4,49	5,16	5,94	6,76	7,68	8,75	10,00	11,41	13,22
8,4	6,93	7,94	9,09	10,30	11,67	13,20	14,98	16,96	19,46
8,6	10,56	12,03	13,68	15,40	17,28	19,42	21,83	24,45	27,68
8,8	15,76	17,82	20,08	22,38	24,88	27,64	30,68	33,90	37,76
9,0	22,87	25,57	28,47	31,37	32,42	37,71	41,23	44,84	49,02
9,2	31,97	35,25	38,69	42,01	45,41	48,96	52,65	56,30	60,38
9,4	42,68	46,32	50,00	53,45	58,86	60,33	63,79	67,12	70,72
9,6	54,14	57,77	61,31	64,54	67,63	70,67	73,63	76,39	79,29
9,8	65,17	68,43	71,53	74,25	76,81	79,25	81,57	83,68	85,85
10,0	74,78	77,46	79,92	82,05	84,00	85,82	87,52	89,05	90,58
10,2	82,45	88,48	86,32	87,87	89,27	90,56	91,75	92,80	93,84

FONTE: Boyd, Tucker (1992)

Os valores de NH₃ não ionizada obtidos por interpolação para os dados apresentados na TABELA 1, aplicados ao fator N obtido pelo roteiro da segunda etapa de coleta para o Tratamento 3, apresentam curvas de distribuição que ampliam os valores para o percentual de NH₃ sobre N total quanto maior for a temperatura (GRÁFICO 1).

GRÁFICO 1 - PORCENTAGEM MÉDIA DE AMÔNIA (NH₃) DO NITROGÊNIO AMONIAICAL TOTAL PRESENTE EM SOLUÇÃO AQUOSA DISTRIBUÍDA POR FAIXA DE TEMPERATURA



FONTE: Adaptado de Boyd, Tucker (1992)

No estudo preliminar o comparativo ocorreu entre os Tratamentos 1 e 3, buscando avaliar e validar a metodologia proposta no tratamento 3 quando comparado ao padrão de mercado pelo custo e usabilidade do método dos reagentes do Tratamento 1.

Com isto estabelecido e visando melhor precisão de resultados, adicionou-se ao estudo principal a análise em laboratório, realizada pelo laboratório A3Q de Cascavel – PR, pela acreditação ANBT NBR ISO/IEC 17025 – Método PE FQ 116. Assim, no estudo principal, os tratamentos 1 e 2 serviram de base para avaliação do Tratamento 3.

5.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

As leituras dos sensores (Tratamento 3) foram realizadas diretamente no tanque de cultivo dos peixes, isolado por uma tela para evitar o acesso dos peixes ao equipamento. A coleta das amostras utilizadas para as análises estatísticas dos Tratamento 1, Tratamento 2 e Tratamento 3 foram feitas no início e no final do dia,

antes do arraçamento, por volta das 07:00 horas da manhã e 17:00 da tarde, no mesmo ponto de coleta, junto ao local de inserção dos sensores. As variáveis isoladamente trabalhadas foram: i) pH da água do sistema de cultivo; ii) temperatura da água do sistema de cultivo do local das amostragens; e iii) concentração de amônia na água do sistema.

Os resultados foram submetidos a: i) análises estatísticas que visam verificar diferenças intrínsecas entre dois ou mais tratamentos, sua variação relacionada com os tratamentos, fatores controlados avaliados e erro experimental (RIBOLDI, 1995); ii) Normalidade, que visa estabelecer a relação de Gauss de um conjunto de dados, tautologicamente, a normalidade ou não desse conjunto de dados, como descrito por (PINO, 2015), para isso utilizou-se o método de Shapiro-Wilk ; correlação R^2 aplicada a testes de tendências que em situações de não linearidade podem convergir muito lentamente e em outras podem se mover em direções opostas, aumentando a soma do quadrado residual (REGAZZI, 2002), teste Pearson a 5% que permite verificar o grau de correlação entre variáveis de comportamento linear e associativo, e teste de correlação Spearman a 5%, que possibilita avaliar a relação monotônica não sinótica entre duas variáveis (DAMÁSIO, 2021) .

5.4 HARDWARE

Para montagem do protótipo utilizou-se componentes de fácil acesso para aquisição, no QUADRO 1 segue relação de componentes:

QUADRO 1 - LISTA DE COMPONENTES

Descrição	Quantidade
Arduino Uno R3 Atmega 238 CH 340	01
Sensor de temperatura de água DS18B20	01
Módulo de sensor de pH 4502c BNC	01
Sonda pH para módulo BNC	01
Protoboard 830 pontos	01
Fonte chaveada 9-12V 1A	01
Tela LCD 16x2	01
Adaptador USB/RJ45	02
Cabo de rede (metro)	12

Optou-se pela placa de desenvolvido Arduino Uno (Figura 1) por atender todos os requisitos de capacidade de armazenamento do software (Sketch) e conexões para este projeto e tem seu datasheet disponível para consulta em: <https://docs.arduino.cc/resources/datasheets/A000066-datasheet.pdf>.

Os sensores foram calibrados para realizar a leitura simultânea e temporizada com intervalo de leitura e registro de 5 minutos considerando que o tempo necessário para leitura estabilizada é de no mínimo 60 segundos, entretanto, é possível obter a leitura dos dados em intervalos diferentes bastando modificar as requisições no software.

A calibração do sensor de temperatura da água (DS18B20) (FIGURA 6), foi feita pela biblioteca específica “DallasTemperature” que é importada para dentro do *Sketch* que posteriormente é gravado na memória do Arduino. O sensor é impermeável, possui 3 vias e pode ter uma variação de até 0,5 grau Celsius na sua precisão.

FIGURA 6 - SENSOR DE TEMPERATURA DE ÁGUA DS18B20



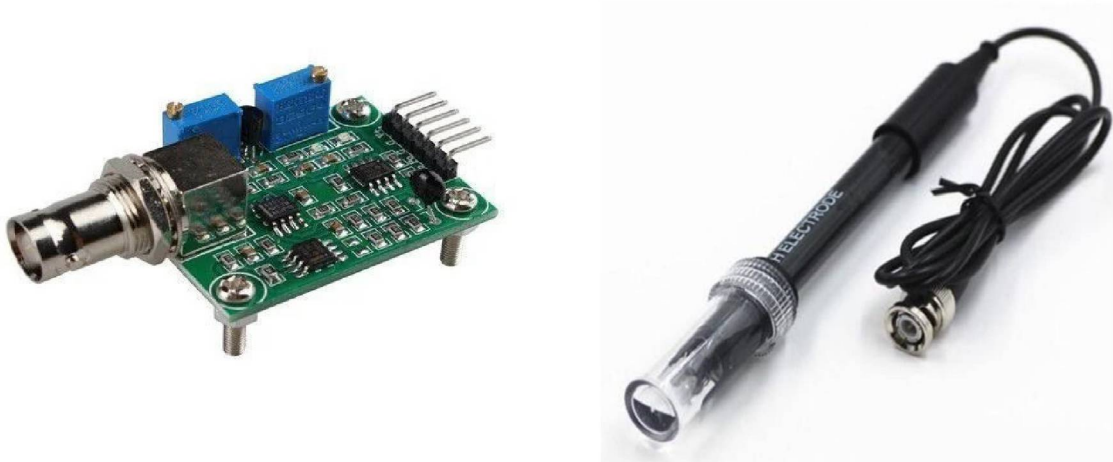
FONTE: <https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20>

O sensor de pH (4502c BNC) é composto pelo módulo de leitura e pela sonda (FIGURA 7), opera em uma faixa de trabalho que varia de 0 a 5 volts, e que é convertido para a faixa equivalente de 0 a 14 na escala de pH. A calibração do sensor de pH pode ser feita de duas formas: a primeira consiste em desconectar a interface BNC da sonda com a placa, colocar os polos do conector da placa em curto-circuito, tendo o cuidado de fazer a ligação dos polos com a placa desenergizada, em seguida ligar o equipamento e ajustar o minipotenciômetro

também chamado de “trim pot” próximo do conector até obter o resultado “7” (STRAUB, 2022).

A outra forma de calibrar o sensor exige duas soluções com pH distintos e conhecidos, a partir dessas soluções faz-se a leitura de cada uma delas e procede o ajuste da faixa de leitura no “trim pot” com o eletrodo dentro da solução, tendo o cuidado de aguardar 60 segundos entre uma leitura e outra para estabilização. Para esse trabalho foi utilizada a primeira forma por ser mais fácil de ser aplicada, considerando ainda que não houve variação no resultado entre a calibração dos dois modos.

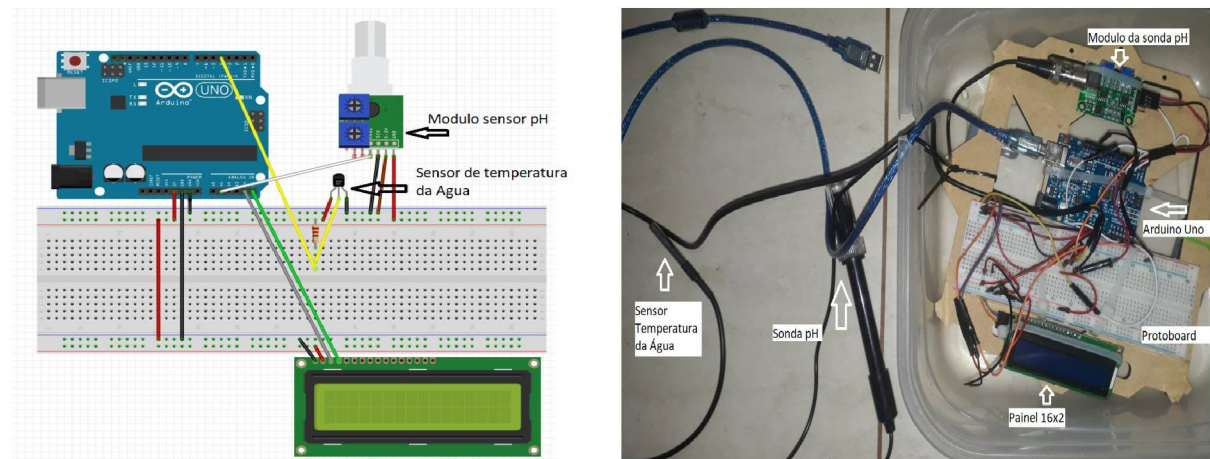
FIGURA 7 - MÓDULO DE LEITURA E SONDA DO SENSOR DE pH



FONTE: <https://www.amazon.com/-/es/GAOHOU-PH0-14-detecci%C3%B3n-electrodo-Arduino/dp/B0799BXMVJ>

Na FIGURA 8 podemos ver o esquema da montagem do conjunto. O fundo do vasilhame plástico foi perfurado para evitar eventual acúmulo de água caso a vedação da tampa não funcionasse. As placas foram fixadas sobre uma base de MDF proporcionando uma distância de afastamento do fundo e o cabeamento foi passado por uma pequena abertura feita na borda do vasilhame.

FIGURA 8 - ESQUEMA DE MONTAGEM DO CONJUNTO



FONTE: O autor (2023)

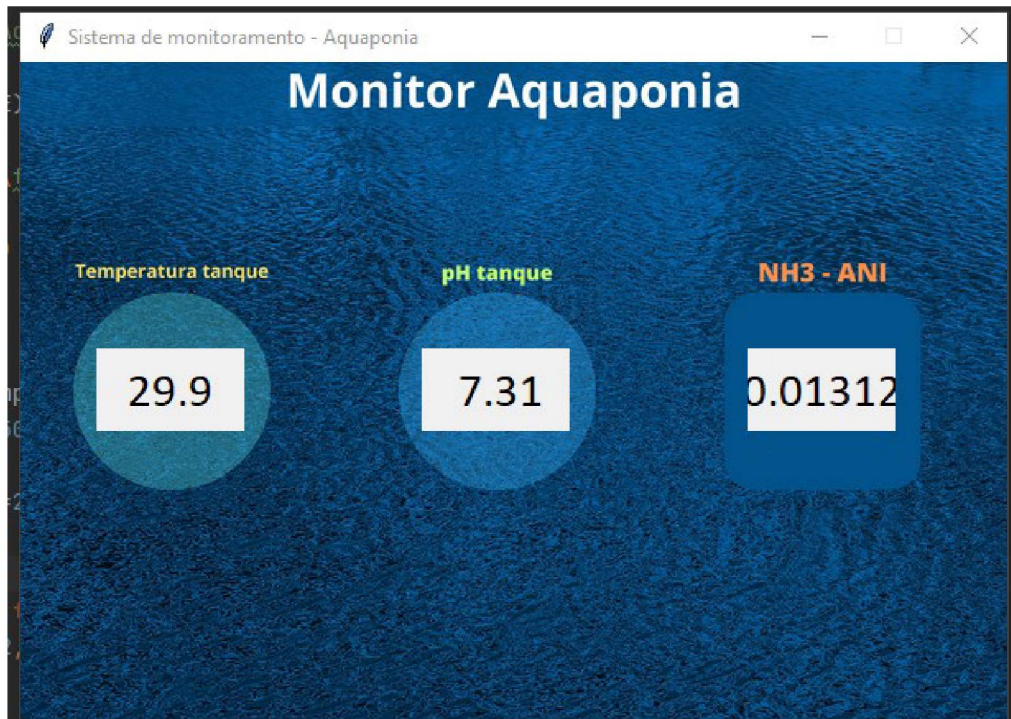
5.5 SOFTWARE

O gerenciamento do equipamento foi feito pela edição de um bloco de códigos conhecido como *Sketch* (anexo 1) na IDE da própria plataforma Arduíno que basicamente é feita na linguagem de programação C modificada e gravada por meio de uma conexão USB entre o Arduíno e o computador. Foi desenvolvida uma aplicação com interface desktop em Python3 por meio da biblioteca Tkinter para visualização dos dados de monitoramento (IMAGEM 2).

Para coleta dos dados, gerenciamento de armazenamento monitoramento, cálculos de interpolação e gerenciamento da comunicação entre o Arduíno e o computador que serviu como servidor local foram utilizadas diversas tecnologias, o código fonte (anexo 1) da aplicação foi elaborado em *Phyton3* como *pode ser visto no print do terminal da aplicação em execução (IMAGEM 3)*, sendo que para o tratamento estatístico dos dados utilizar-se-á a biblioteca *pandas* e *scypy*, para o armazenamento dos dados foi utilizado *MySQL* como banco de dados local e *Apache* na função de servidor de requisições no computador local. Já o armazenamento remoto utilizou *Firestore* (versão gratuita) como banco de dados NoSql e que oferece na plataforma integrada o servidor de requisições como duplicata “em nuvem” visando redundância no armazenamento em caso de falha de um dos métodos, além de servir de base para obteção de dados para um futuro aplicativo móvel para monitoramento.

A comunicação entre o computador local e o Arduino foi feita por protocolo serial rs232 sendo necessária a instalação de driver RS232 específico para a possibilidade de utilização de conversor serial/USB, ligados fisicamente por um cabo de rede no padrão RJ45 com adaptadores terminais USB. A taxa de transmissão ou “Baudrate” em que o equipamento se manteve estável, sem falhas, foi de 9600 bits por segundo.

IMAGEM 2 - TELA DA APLICAÇÃO DESKTOP PARA LEITURA DOS PARÂMETROS



FONTE: O Autor (2023)

IMAGEM 3 - TERMINAL DA APLICAÇÃO EM EXECUÇÃO

```

Run: INA
F:\Mestrado_ETA\Projeto\aquaponics-master\venv\Scripts\python.exe F:\Mestrado_ETA\Projeto\aquaponics-master/src/INA.py
Temperatura: 22 C
pH: 7
resultado_temp_superior: 0.8207
resultado_temp_inferior: 0.0046
resultado_guide_line: 12
-----
                resultado_ajuste_min: resultado_ajuste_max:
Guide line 4: 0.0018571105398964322 0.0029999477886788473
Guide line 5: 0.0021417713260479527 0.0033465176969499247
Guide line 6: 0.0022734672022160623 0.0036627116035703278
Guide line 7: 0.0026381355932203403 0.004077118644067799
Guide line 8: 0.0028631733184482284 0.004581977309517164
Guide line 8: 0.0031891062575371866 0.005058582339541739
Guide line 8: 0.003607472527472531 0.005729515190691661
Guide line 8: 0.004009432544156337 0.006373969685581857
Guide line 8: 0.004599999999999998 0.0072
Guide line 8: 0.005075689819219794 0.008101581826831591
Guide line 8: 0.005733814625958223 0.00917410340009315
Guide line 8: 0.00647254543376386 0.010318550691507628
Guide line 8: 0.007383715699505173 0.011629352226720681
Guide line 8: 0.008426264075954927 0.01359074850960479
-----
Mínimo ajustado: 0.004599999999999998
Máximo ajustado: 0.0072
-----
INA Calculado: 0.004599999999999998 ppm
-----
Process finished with exit code 0

```

FONTE: O Autor (2023)

5.6 TRATAMENTO DE ERROS

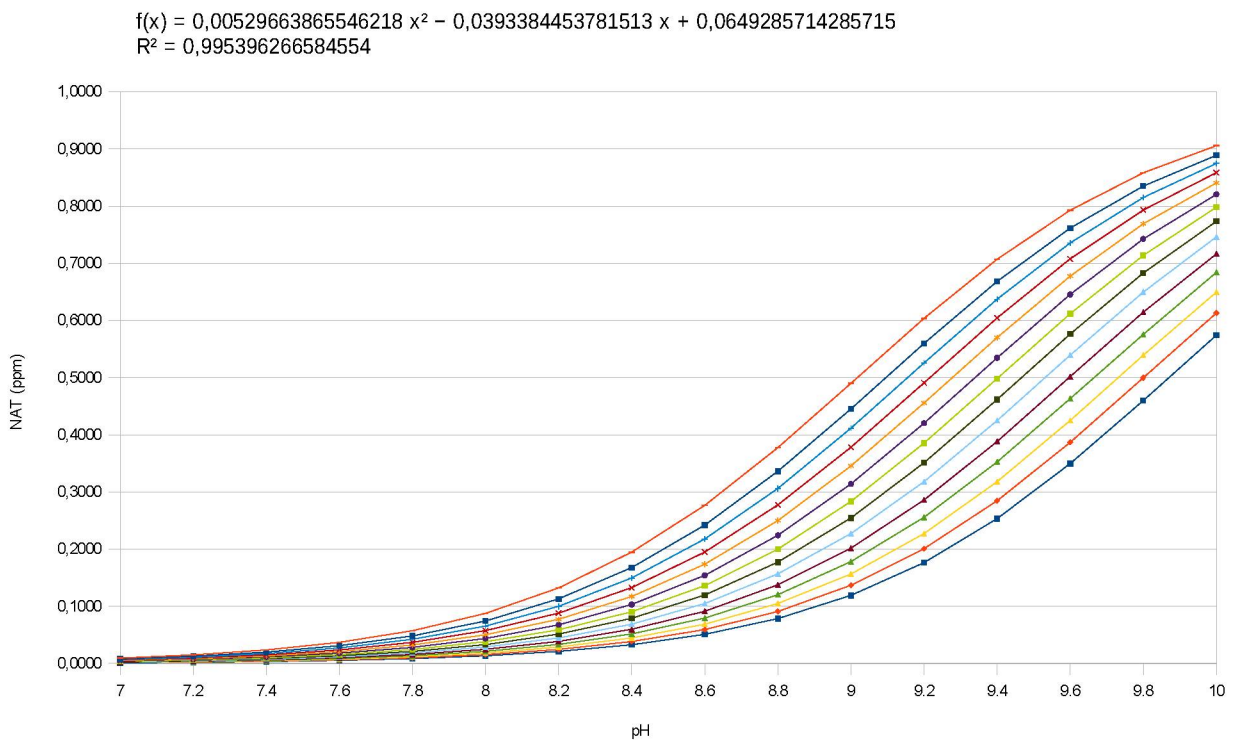
Os dados coletados pelos sensores foram enviados para dois bancos de dados distintos com objetivo de redundância no armazenamento das informações como recurso de segurança para reduzir a possibilidade de perda das informações por corrupção de alguma das bases e os códigos buscaram seguir as boas práticas para tratamento de erros como o uso de blocos try/catch para operações críticas. A possibilidade de falha na transmissão dos dados ou problemas com o hardware foram minimizados pelas inspeções diárias com esse objetivo.

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 RESULTADOS PRELIMINARES

A primeira etapa de avaliações foi executada no período de 28/08/2022 a 02/09/2022, onde foram comparados os tratamentos T1 e T3. A metodologia para T1 e T3 do estudo preliminar seguiu a mesma utilizada no estudo principal. As curvas de distribuição dos valores para cada faixa de temperatura e pH resultantes de interpolação, conforme metodologia para o Tratamento 3, podem ser vistas na Figura 9.

FIGURA 9 - DISTRIBUIÇÃO DOS VALORES DE AMÔNIA NÃO IONIZADA EM FUNÇÃO DE DIFERENTES FAIXAS DE TEMPERATURA E pH DA ÁGUA



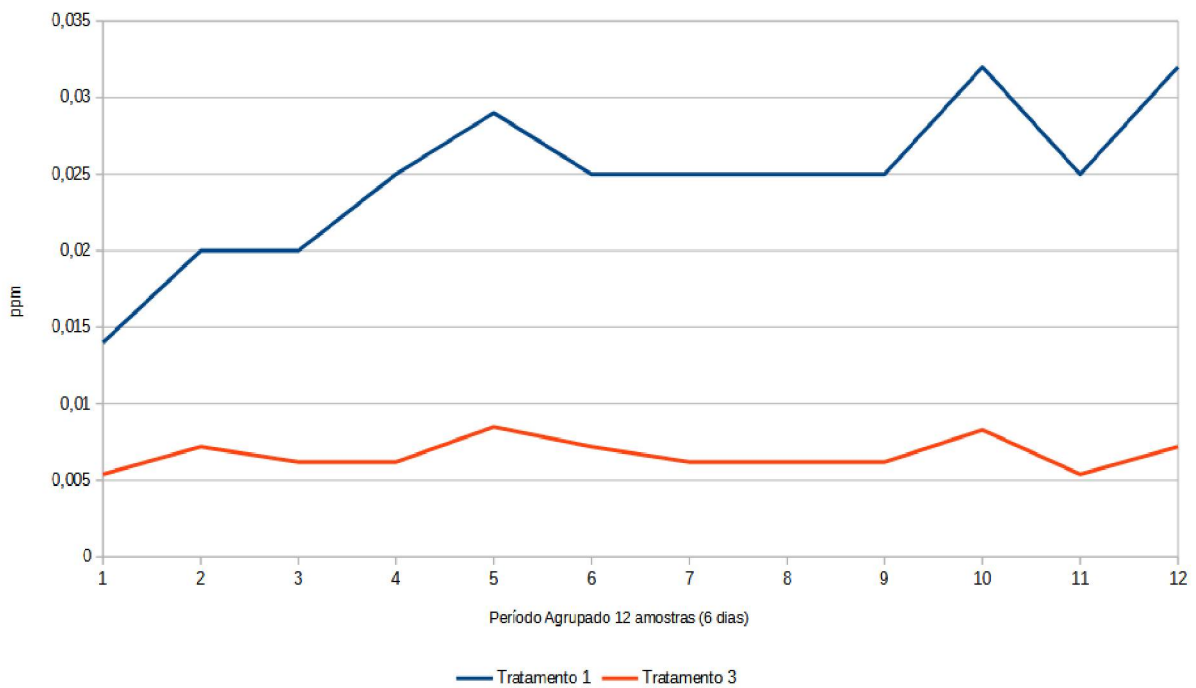
FONTE: adaptado de Boyd, Tucker (1992)

Quanto ao teste de normalidade de Shapiro-Wilk, o Tratamento 1 apresentou valor para p de 0,002953, não tendo distribuição Normal ou Gaussiana para esse conjunto. Os resultados obtidos para o Tratamento 3 apresentaram valor para p de 0,1055, conferindo a esse agrupamento de dados fraca correlação para distribuição

normal. Nesse caso é recomendável a aplicação do teste de Spearman, uma vez que não há distribuição normal para os dois tratamentos.

O resultado para o teste de Correlação de Spearman foi de 0,61, demonstrando moderada correlação positiva entre os tratamentos. Na Figura 10 temos a representação gráfica das distribuições temporais das leituras dos dois tratamentos.

FIGURA 10 - CURVAS DE LEITURA DE AMÔNIA PARA T1 E T3



FONTE: O Autor (2023)

Os resultados para t pareado apontam para hipótese de correlação positiva e proporcional, com correlação de Pearson em 0,6413, apontando para tendência de correlação positiva de comportamento similar na conformação das curvas, porém, com resultados em diferentes faixas de valores absolutos.

6.2 RESULTADOS E DISCUSSÃO DO ESTUDO PRINCIPAL

A condução do estudo principal e coleta dos dados ocorreu entre os dias 05 e 26 de janeiro de 2023, com o sistema já em funcionamento desde o dia 20 de novembro para estabilização das colônias de bactérias envolvidas nos processos de conversão de N e os alevinos de Tilápias do Nilo alojados em fase juvenil em 02 de

dezembro de 2022 como pode ser observado na IMAGEM 4. Em geral são necessários 20 a 40 dias após a introdução dos peixes para que um sistema aquapônico apresente seu ciclo de nitrificação em equilíbrio (CARNEIRO, 2015). Esse período foi iniciado com a utilização de argila expandida já utilizada no ciclo anterior.

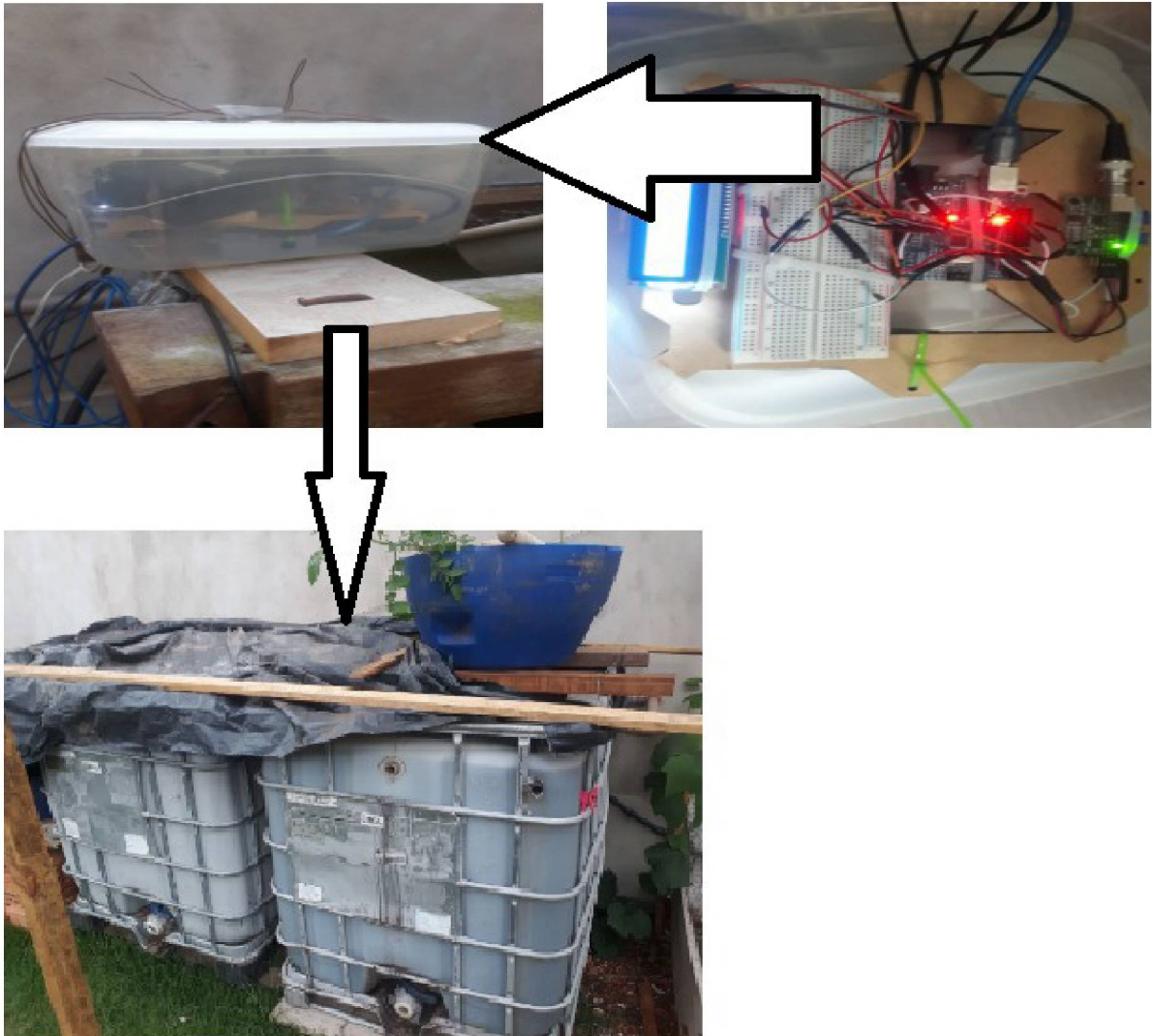
IMAGEM 4 - VISTA DOS TANQUES E DOS PEIXES AO FINAL DO PERÍODO DE AVALIAÇÃO



FONTE: O autor (2023).

O protótipo foi instalado sobre o primeiro tanque (IMAGEM 5), os sensores ficaram em contato constante com a água do sistema e protegidos do contato com os animais por uma tela. Todas as tomadas de amostras para os 3 tratamentos ocorreram no mesmo ponto do tanque.

IMAGEM 5 - VISTA DO PROTÓTIPO INSTALADO SOBRE O TANQUE DE CULTIVO



FONTE: O autor (2023)

6.3 TESTE DE NORMALIDADE

Para o teste de normalidade de Shapiro-Wilk (TABELA 4), o Tratamento 1 apresentou valor para p de 0,000045, não tendo distribuição Normal ou Gaussiana para esse conjunto. Para o conjunto de dados resultantes do Tratamento 2, o valor de p ficou em 0,004434, novamente sem representação sinótica para o conjunto. Os dados obtidos pelo Tratamento 3 apresentaram valor para p de 0,033880, também sem característica de distribuição normal. Foi utilizado teste de Spearman para correlações de valores e teste de Pearson para correlações de distribuições, uma vez que não há distribuição normal para os tratamentos.

TABELA 4 - VALORES PARA TESTE DE NORMALIDADE DE SHAPIRO-WILK

	Tratamento 1	Tratamento 2	Tratamento 3
Valor estatístico de Shapiro-Wilk	0,791271	0,686439	0,923892
Valor de p de Shapiro-Wilk	0,000045	0,004434	0,033880
Grau de confiança	0,05	0,05	0,05

FONTE: O Autor (2023)

6.4 TESTE DE SPEARMAN

O resultado para o teste de Correlação de Spearman para interação de valores (TABELA 5) foi de pouco mais de 0,4629 entre os tratamentos T1 e T2 apresentando fraca correlação positiva entre os valores dos dois tratamentos. Na correlação entre os tratamentos T1 e T3 o valor de CS foi de -0,8853 apontando para forte correlação negativa. No caso da interação entre os tratamentos T2 e T3 o valor para CS ficou em pouco menos de zero, com valor de -0,0303, não configurando correlação direta entre tratamentos mesmo observando os dados apresentados na tabela pareçam ter distribuição similar.

Nenhuma das interações se mostrou estatisticamente significativa para correlação fortemente positiva para os valores absolutos apresentados entre os diferentes tratamentos, o que acarreta a impossibilidade de se fazer a calibração com uma equação linear do protótipo tomando por base qualquer um dos outros dois tratamentos. A diferença de resultados entre T1 e T2 pode ter relação com uma possível inconsistência de precisão entre os métodos uma vez que nem todos os valores intermediários aos tabelados no Tratamento 1 são contemplados com precisão tendo que se optar pela faixa superior ou pela inferior, e em alguns momentos isso pode mudar o status de nível de toxicidade de amônia mesmo não sendo visualmente exatamente a faixa apontada (IMAGEM 6).

Por exemplo, em uma situação com leituras de pH de 7,7, temperatura de 26 °C e leitura na escala de cores em que a tonalidade de verde esteja mais escura que a relativa a 1 ppm, porém mais clara que a relativa a 2 ppm (IMAGEM 6), o resultado real poderia ser qualquer um entre 0,022 e 0,054 ppm de ANI equivalente. Outro fator importante que pode afetar o resultado desse método é o tamanho da gota dispensada no momento da utilização, conforme Arruda (2009), o tamanho das gotas proveniente de embalagens gotejadoras é influenciado pela densidade do líquido no momento da aplicação, temperatura, tensão superficial, viscosidade, ângulo de

deposição e formato da abertura e ângulo de chanfro, características que combinadas podem auferir alteração de até 184,21 % no volume de gota em estudo com fármacos.

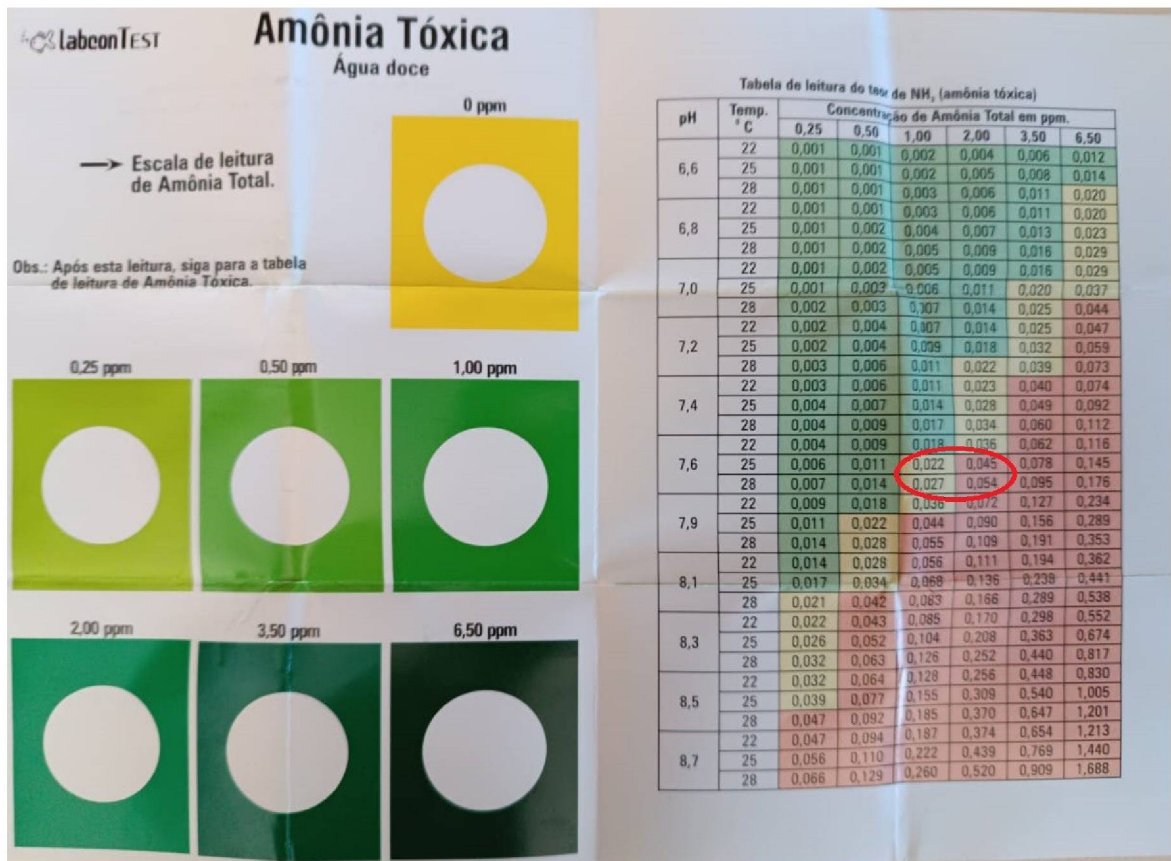
Outro fator de influência na alteração do tamanho de gotas a ser considerado é o vento no momento da dispensação das gotas, principalmente por deriva química pela pressão de vapor da solução (ZAMARCO, 2022). No primeiro período de avaliação as amostras foram levadas para local coberto e semifechado, já no trabalho principal o procedimento foi realizado ao lado tanque de cultivo, local aberto e, portanto, sujeito a maior interferência de vento.

Entre os tratamentos T2 e T3 a diferença do resultado pode ser atribuído ao valor do Fator N no momento da tomada da amostra que nessa fase de cultivo que ainda é bastante baixo, considerando que o valor utilizado para o Fator N na estimativa é o final conforme proposto por Queiroz (2008), calculado para o total acumulado no término do ciclo de cultivo.

TABELA 5 - TESTE DE CORRELAÇÃO DE SPEARMAN

Índice	T1 – T2		T1 – T3		T2 – T3	
1	0,002000	0,007620	0,002000	0,009792	0,007620	0,009792
2	0,003000	0,008842	0,003000	0,005658	0,008842	0,005658
3	0,003000	0,012588	0,003000	0,026520	0,012588	0,026520
4	0,006000	0,010072	0,006000	0,003500	0,010072	0,003500
5	0,006000	0,010091	0,006000	0,003500	0,010091	0,003500
6	0,006000	0,009005	0,006000	0,003500	0,009005	0,003500
CS	0,462910049886276		-0,885364878308337		-0,0303588370359458	

FONTE: O Autor (2023)

IMAGEM 6 - TABELA DE LEITURA DE TEOR DE NH_3 (AMÔNIA TÓXICA) – LABCONTEST

FONTE: O AUTOR (2023)

6.5 TESTE DE PEARSON

Para o teste de Correlação de Pearson para interação de distribuição, o par T1 – T2 apresentou média correlação negativa para o comportamento de distribuição de ambas (TABELA 6), não sendo possível estabelecer relação positiva entre as curvas de distribuição dos dois tratamentos.

TABELA 6 - TESTE DE PEARSON A 5% ENTRE OS TRATAMENTOS T1 E T2

Pearson T1 – T2						
Amônia Kit	Lab % ANI(BOYD)	Desvio média(T1)	Desvio media(T2)	d(T1) * d (T2)	Variancia (T1)	Variancia (T2)
0,0020	0,009792	-0,0023	8,900000	-2,0766	5,4444	7,921000
0,0030	0,005658	-0,0013	-0,004045	5,3933	1,7777	0,000016
0,0030	0,026520	-0,0013	0,016817	-2,2422	1,7777	0,000282
0,0060	0,003500	0,0016	-0,006203	-1,0338	2,7777	0,000038
0,0060	0,003500	0,0016	-0,006203	-1,0338	2,7777	0,000038
0,0060	0,003500	0,0016	-0,006203	-1,0338	2,7777	0,000038
0,0260	0,052470					
0,0043	0,008745					
			Covariação	-0,000048252	3,466666	0,000082
			Covariança	-0,000009650		
			Raiz		0,001861	0,009106
			d padrao (T1) * d padrao (T2)			1,695479
			r			-0,569184

FONTE: O Autor (2023)

Na correlação entre os tratamentos T1 e T3 o resultado apontou para fraca correlação positiva entre os dois tratamentos, não sendo possível correlacionar o comportamento de distribuição das duas curvas pelo resultado próximo da independência dos fatores (TABELA 7).

TABELA 7 - TESTE DE PEARSON A 5% ENTRE OS TRATAMENTOS T1 E T3

Pearson T1 - T3						
Amônia Kit	Amônia Sistema FN = 1	Desvio média(T1)	Desvio media(T3)	d(T1) * d (T3)	Variancia (T1)	Variancia (T3)
0,002000	0,007620	-0,0023	-0,002083	4,86033000	5,4444	0,0000043388
0,003000	0,008842	-0,0013	-0,000861	0,00000114	1,7777	0,0000007413
0,003000	0,012588	-0,0013	0,002885	-3,84666666	1,7777	0,0000083232
0,006000	0,010072	0,0016	0,000368	0,00000061	2,7777	0,0000001361
0,006000	0,010091	0,0016	0,000387	6,46666666	2,7777	0,0000001505
0,006000	0,009005	0,0016	-0,000697	-1,16333333	2,7777	0,0000004872
0,026000	0,058218					
0,004333	0,009703					
			Covariação	0,00000226	3,4666	0,00000283546
			Covariança	0,00000045		
			Raiz		0,0018	0,00168388503
			d padrao (T1) * d padrao (T3)			3,13522330517
			r			0,1441683593
						1

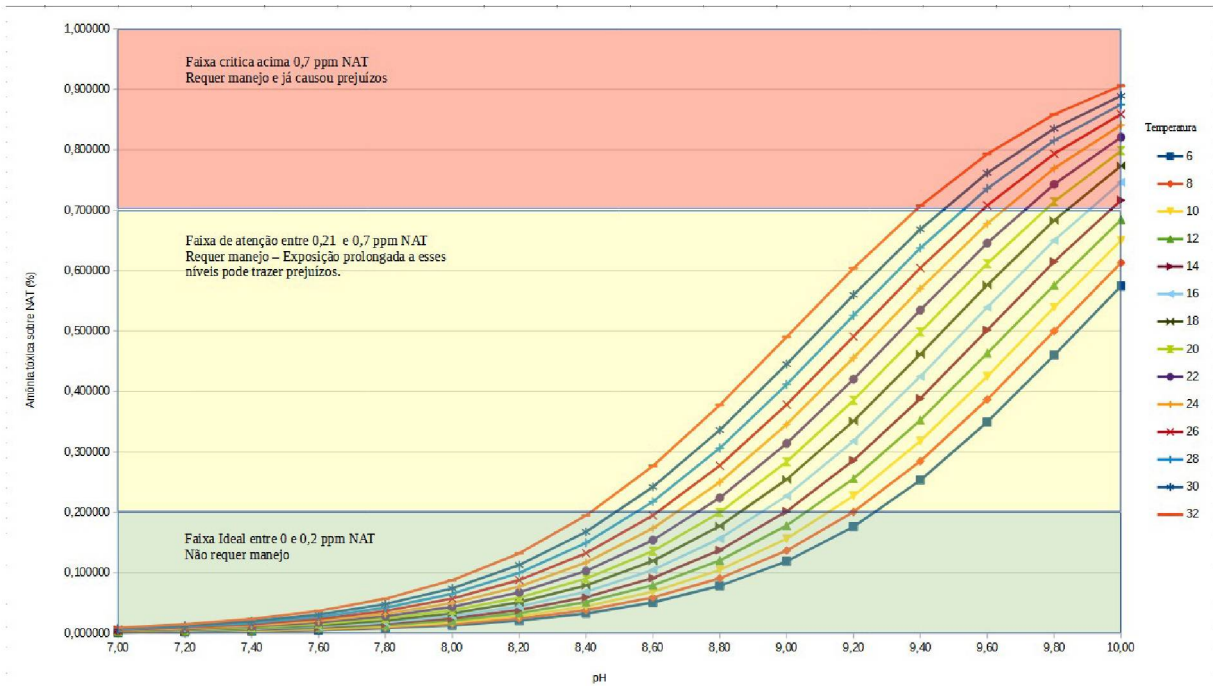
FONTE: O Autor (2023)

No caso da interação entre os tratamentos T2 e T3 configura média a forte correlação positiva direta entre a distribuição das curvas dos tratamentos (TABELA

8). Ou seja, apenas os tratamentos T2 e T3 podem ter suas curvas de distribuição correlacionadas, mesmo não apresentando correlação positiva no teste de Spearman para correlação de valores absolutos se não considerado o momento final para o Fator N e sim o momento da coleta, é possível utilizar os valores obtidos em laboratório (T2) para validar a curva de valores obtida pelo protótipo (T3) para estabelecer faixas de concentração e sugerir níveis operacionais de tomada de decisão com relação à medidas de manejo para concentração de amônia no sistema.

Segundo Kubitza (1999), valores de NH_3 tóxica a partir de 0,2 mg/L já são prejudiciais ao desenvolvimento dos peixes, valores entre 0,7 e 2,4 mg/L já podem causar grandes prejuízos aos indivíduos e comprometer a produção e valores acima de 2,4 podem ser letais a depender do tempo de exposição a essas concentrações mais elevadas. Com base nesses valores pode-se definir faixas de atenção, semelhantes às que são sugeridas no método dos reagentes do kit utilizado no tratamento 1 (IMAGEM 3), de forma que entre 0 e 0,2 mg/L teríamos a faixa ótima, entre 0,21 e 0,7 mg/L teríamos a faixa de atenção ou requer manejo e acima de 0,71 mg/L teríamos a faixa crítica ou manejo imediato (IMAGEM 7).

IMAGEM 7 - MODELO DE APLICAÇÃO DAS FAIXAS DE MANEJO ATRIBUÍDAS ÀS CURVAS DE LEITURA DE NITROGÊNIO AMONICAL TOTAL EM FUNÇÃO DE TEMPERATURA E pH



FONTE: O Autor, adaptado de Boyd, Tucker (1992)

TABELA 8 - TESTE DE PEARSON A 5% ENTRE OS TRATAMENTOS T2 E T3

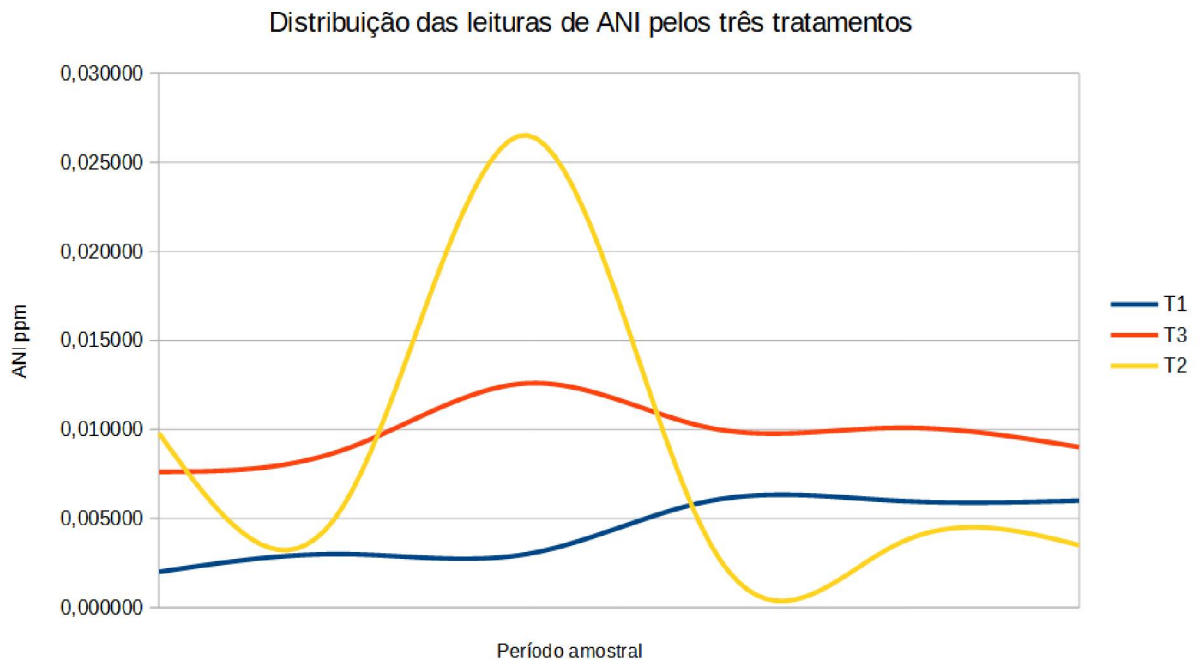
Pearson T2 – T3						
Lab % ANI(BOYD)	Amônia Sistema FN = 1	Desvio média(T1)	Desvio media(T2)	d(T1) * d (T2)	Variancia (T1)	Variancia (T2)
0,009792	0,007620	0,005458	-0,002083	-1,1370400	2,9797041	0,000004338
0,005658	0,008842	0,001324	-0,000861	-0,0000011	1,7547417	0,000000741
0,026520	0,012588	0,022186	0,002885	6,4008533	0,0004922	0,000008323
0,003500	0,010072	-0,000833	0,000368	-0,0000003	6,944444	0,000000136
0,003500	0,010091	-0,000833	0,000387	-3,2333333	6,944444	0,000000150
0,003500	0,009005	-0,000833	-0,000690	5,8166666	6,944444	0,000000487
0,052470	0,058218					
0,008745	0,009703					
			Covariação	0,0000514	0,0001051	0,000002835
			Covariança	0,0000102		
			Raiz		0,0102555	0,001683885
			d padrao (T1) * d padrao (T2)			1,726919612
			r			0,595840427

FONTE: O Autor (2023)

No GRÁFICO 2 temos a representação gráfica das distribuições das leituras dos três tratamentos, onde é possível perceber o comportamento divergente entre as curvas do tratamento T1 e T3 que pode ser resultante da imprecisão do método T1 que aplica amplos intervalos entre parâmetros de leitura podendo induzir o utilizador

a erro operacional. No mesmo gráfico pode ser observada uma correspondência no comportamento das curvas de distribuição dos tratamentos T2 e T3 que se aproximam e se distanciam das abcissas nos mesmos momentos mesmo que em valores absolutos diferentes, como pode ser verificado nos resultados dos testes de comparação de Spearman.

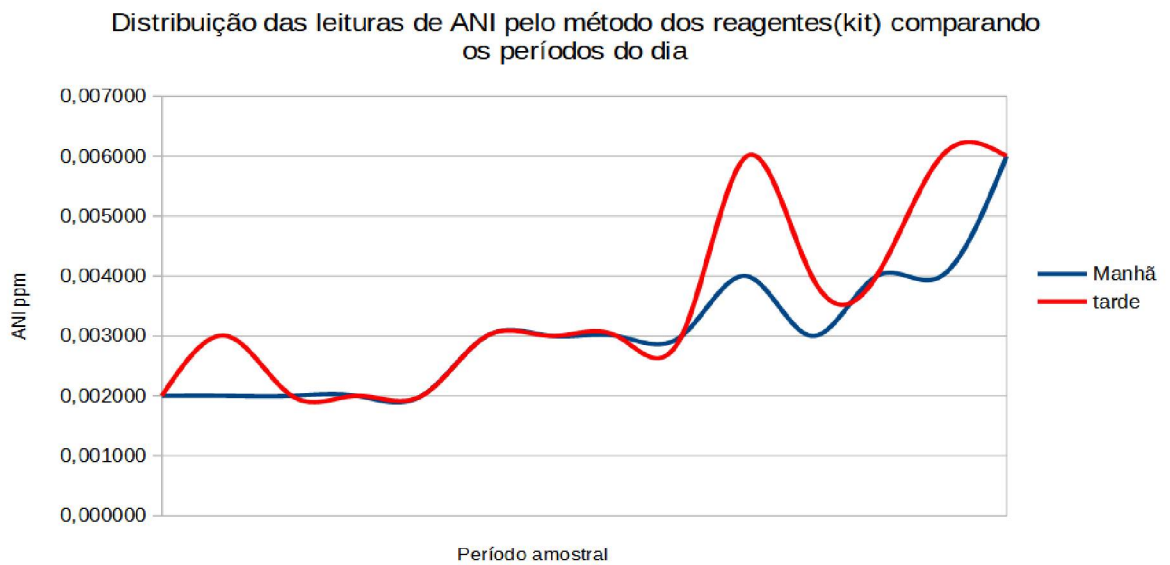
GRÁFICO 2 - DISTRIBUIÇÃO DAS CURVAS DE ANI (VALORES ABSOLUTOS) COMPARANDO OS 3 TRATAMENTOS



FONTE: O Autor (2023)

Os resultados obtidos para determinação da Amônia Não Ionizada (ANI) potencialmente tóxica pelo Tratamento 1 apresentaram maior tendência para valores maiores no período da tarde do que no período da manhã (GRÁFICO 3) com base na correlação de tendência utilizando Pearson, o que vai de encontro com o relatado por Kubitzka (2017) que observou resultados mais altos para ANI no início da manhã principalmente por conta da dinâmica do oxigênio e do gás carbônico e a atividade microbiana e de fitoplânctons nos processos de transformação do nitrogênio.

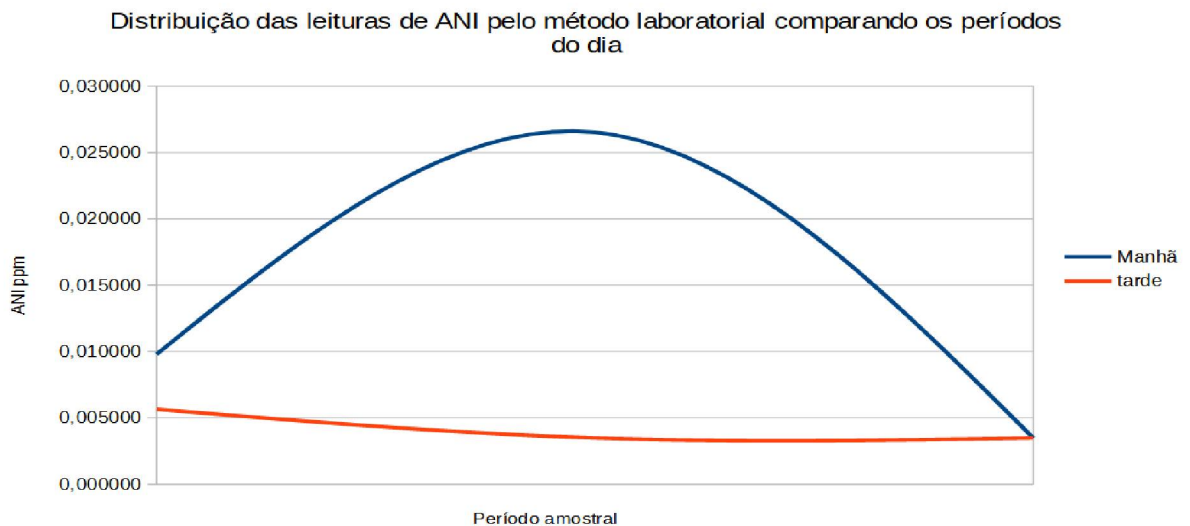
GRÁFICO 3 - DISTRIBUIÇÃO DAS CURVAS DE LEITURAS PARA O T1



FONTE: O Autor (2023)

Para os resultados de amônia não ionizada obtidos para o Tratamento 2 o comportamento das concentrações observadas que foram maiores no período da manhã e menores no período da tarde (GRÁFICO 4), porém quando submetido a teste de Pearson apresentam fraca correlação negativa, confirmando tendência de comportamento oposto nos períodos do dia observados por Kubitzka (2017).

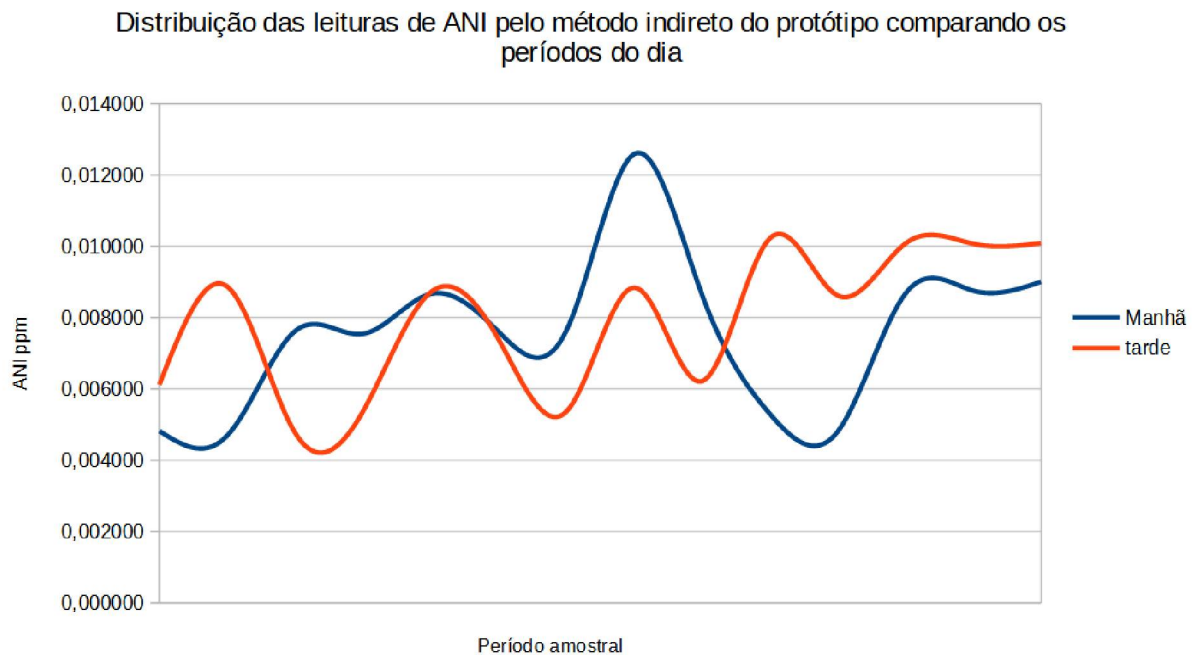
GRÁFICO 4 - DISTRIBUIÇÃO DAS CURVAS DE LEITURAS PARA O T2



FONTE: O Autor (2023)

Já para os dados obtidos no Tratamento 3, não foi possível observar um comportamento uniforme de tendência, sendo possível verificar vários momentos de alternância (GRÁFICO 5), o que pode ser observado no teste de Pearson, com fraca correlação positiva não permite afirmar que há uniformidade de nas leituras mais altas no período da manhã em relação ao final da tarde.

GRÁFICO 5 - DISTRIBUIÇÃO DAS CURVAS DE LEITURAS PARA O T3



FONTE: O Autor (2023)

A atualização do valor para o Fator N para períodos determinados e cumulativos durante o período de cultivo não modificam a distribuição das curvas, afetando apenas a relação percentual (valor absoluto) a ser aplicada nessa distribuição, como demonstrado na TABELA 9. Esse comportamento é o esperado já que a única variável alterada é o N total no sistema dentro do proposto por Queiroz (2008).

TABELA 9 - VARIAÇÃO PROPORCIONAL DO VALOR DO FATOR N CALCULADO EM FUNÇÃO DO TEMPO DE CULTIVO

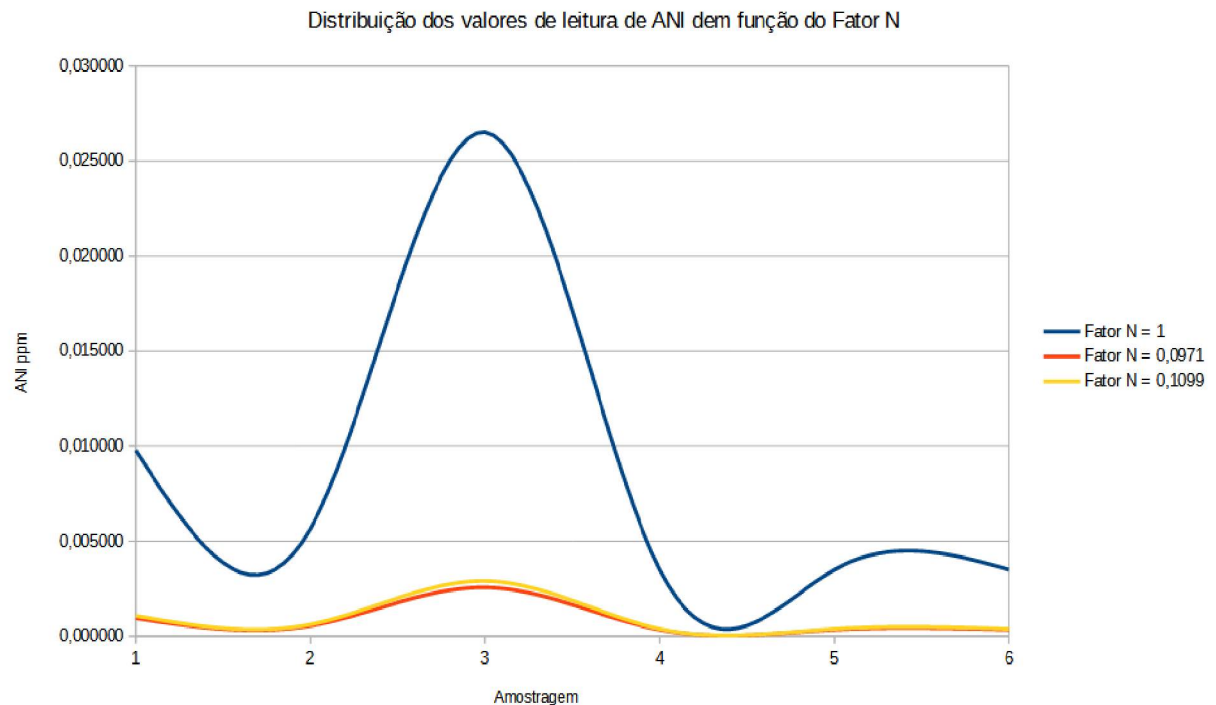
Distribuição com Acumulado projetado para o final do cultivo (dia 180)		
	Fator N=	1
Amônia kit reagentes	Amônia Sistema FN = 1	Lab % ANI(BOYD)
0,002000	0,007620	0,009792
0,003000	0,008842	0,005658
0,003000	0,012588	0,026520
0,006000	0,010072	0,003500
0,006000	0,010091	0,003500
0,006000	0,009005	0,003500
Distribuição com calculado para o início do período de leituras (dia 1)		
	Fator n =	0,0971
Amônia kit reagentes	Amônia Sistema FN = 1	Lab % ANI(BOYD)
0,002000	0,007620	0,000951
0,003000	0,008842	0,000549
0,003000	0,012588	0,002575
0,006000	0,010072	0,000340
0,006000	0,010091	0,000340
0,006000	0,009005	0,000340
Distribuição com calculado para o final do período de leituras (dia 21)		
	Fator n =	0,1099
Amônia kit reagentes	Amônia Sistema FN = 1	Lab % ANI(BOYD)
0,002000	0,007620	0,001076
0,003000	0,008842	0,000622
0,003000	0,012588	0,002915
0,006000	0,010072	0,000385
0,006000	0,010091	0,000385
0,006000	0,009005	0,000385

FONTE: O Autor (2023)

Essa informação se torna relevante para o melhor aproveitamento do equipamento no método proposto, uma vez que não é possível validar sua aplicação na determinação dos valores absolutos de ANI como indicam os testes de correlação de Spearman em intervalos que sejam diferentes de 1 para o Fator N. No entanto, é possível sua utilização para identificação do comportamento das curvas de leitura e identificação de momentos críticos de mudança de status entre concentrações importantes ou limítrofes, e valores com concentrações potencialmente prejudiciais. Pois conforme indicaram os testes de correlação de Pearson para os tratamentos T2 e T3 (GRÁFICO 6) por projeção ortogonal do valor absoluto no eixo das ordenadas a partir do ponto de encontro para o valor absoluto no eixo das abcissas, e considerando uma linha paralela para a abcissa encontrada determina-se a reta paralela da ordenada equivalente no momento fracionário para o Fator N. Para que

essa associação entre os pontos das curvas seja possível é preciso tomar como base as leituras obtidas pelo Tratamento 2 partindo dos valores determinados no eixo das ordenadas e sua intersecção no eixo das abcissas.

GRÁFICO 6 - COMPORTAMENTO DAS CURVAS DE DISTRIBUIÇÃO DE LEITURAS OBTIDAS EM T3 EM FUNÇÃO DA VARIAÇÃO DO FATOR N.

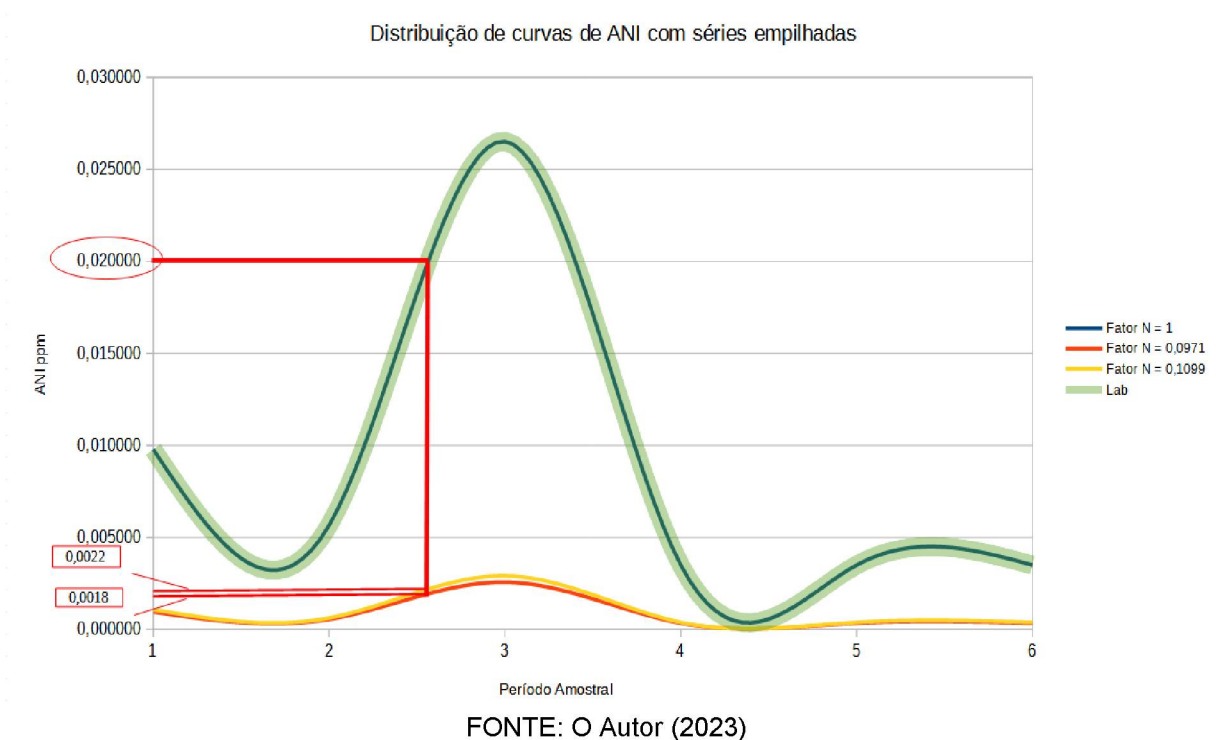


FONTE: O Autor (2023)

Quando observadas as distribuições das séries empilhadas e estabelecidas a intersecção do eixo das abcissas como valor de referência com o eixo das ordenadas como valor de correspondência (GRÁFICO 7), é possível identificar o ponto de encontro de equivalência nas leituras em qualquer curva resultante da alteração do Fator N. A medida em que o Fator N é recalculado no transcórrer do período de cultivo, a amplitude da curva aumenta como pode ser visto no ponto de amostragem 3 entre a amplitude da curva para Fator N = 0,0971 por tanque no dia 1, Fator N = 0,1099 para o dia 21 e Fator N = 1 para o dia 180 que somente nesse momento coincide com os valores absolutos obtidos pelo Tratamento 2. No momento em que se atinge o primeiro patamar de 0,02 ppm de NH_3 tóxica (Kubitza, 1999) no tratamento 2, que é o valor absoluto de ANI obtido em laboratório, a correspondência para o dia 1 de coleta de amostras está em 0,0018 ppm de NH_3 tóxica e para o dia

21 em 0,0022 ppm de NH_3 tóxica, demonstrando que o valor real de NH_3 tóxica para o resultado lido no Tratamento 3 para esses valores (Gráfico 7) está de fato muito próximo de 0,02 ppm de NH_3 tóxica e requer intervenção no sistema, pois está adentrando na faixa de concentração real de ANI que causa perdas de produtividade..

GRÁFICO 7 - DISTRIBUIÇÃO DAS CURVAS DE LEITURA DE T3 COM DIFERENTES PONTOS DE FATOR N COM PROJEÇÃO ORTOGONAL EM T2



Após coleta e análise dos dados, pelos resultados obtidos no Teste de Pearson, pôde-se verificar que o equipamento tem funcionamento adequado, os dados foram temporalmente coletados corretamente, os softwares desenvolvidos tiveram desempenho satisfatório. Conforme resultados obtidos no Teste de Spearman, não foi possível estabelecer correlação direta dos valores absolutos de concentração de amônia com a metodologia proposta, no entanto funciona adequadamente como ferramenta auxiliar no monitoramento para fins de manejo. Para que o resultado possa ser replicado é necessário a correta calibração de cada sistema que fará uso do monitoramento para que se estabeleça a correlação apropriada entre T2 e T3.

7 CONCLUSÕES

Foi possível validar o uso para operações de manejo do sistema aquapônico por correlação indireta pela distribuição das curvas de leitura, no entanto, não foi possível calibrar o protótipo do Tratamento 3 pelos outros dois tratamentos em termos de valores absolutos.

8 RECOMENDAÇÕES

O protótipo pode ser utilizado para referenciar faixas de concentração, mas não é possível seu uso como medida de valores para amônia de forma instantânea por ser necessário recalibração constante. Para continuidade desse trabalho sugere-se a aplicação do monitoramento durante um ciclo completo de cultivo; automação do procedimento de limpeza das sondas e desenvolvimento de aplicação mobile para monitoramento; implementação de comunicação através de módulo GSM ou WiFi para evitar o uso de cabeamento. Outro ponto a se considerar é a aplicação da metodologia do Tratamento 1 em ambiente com ventilação controlada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANTONIELLO, A., AHLERT, E. M. **Sistema de Monitoramento Automatizado para Controle de Qualidade de Água em Sistema Aquapônico**. Revista Destaques Acadêmicos, Lajeado, v. 12, n. 4, 2020. DOI: <http://dx.doi.org/10.22410/issn.2176-3070.v12i4a2020.2388>. Disponível em: <http://www.univates.br/revistas/index.php/destaques/article/viewFile/2388/1765>. Acesso em: 17/03/2023.

ARANA, L. V. **Princípios Químicos de Qualidade da Água em Sistemas de Aquicultura**. Segunda Edição Revisada e Ampliada. Florianópolis, UFSC, 2002. p. 83.

ARRUDA, M. C., OLIVEIRA, T. B. **AVALIAÇÃO FARMACOECONÔMICA DE DIFERENTES MARCAS DE DIMETICONA COMERCIALIZADA EM ANÁPOLIS - GO**. Visão Acadêmica, [S.l.], v. 10, n. 2, dez. 2009. ISSN 1518-8361. Disponível em: <<https://revistas.ufpr.br/academica/article/view/21340>>. Acesso em: 21/03/2023. doi:<http://dx.doi.org/10.5380/acd.v10i2.21340>.

CAMPOS, G. S., PAIXÃO, F. C. **Desenvolvimento de ferramenta de gerenciamento de funcionalidades de switches, roteadores e CME da Cisco para otimização de processo de configuração para garantia de qualidade com uso da linguagem Python**. Revista Computação Aplicada. V. 7, n. 1, 2018. DOI: 10.33947/2316-7394-v7n1-3521. Disponível em: <file:///C:/Users/jonig/Downloads/3521-12323-1-PB.pdf>. Acesso em: 16/03/2023.

CANASTRA, I. I. O. **Aquaponia: Construção de um sistema de aquaponia a uma escala modelo e elaboração de um manual didático**. Porto, Portugal. 2017. Disponível em: <https://hdl.handle.net/10216/110688>. Acesso em: 12/09/2022.

CARNEIRO, P. C. F. Et all. **Produção Integrada de Peixes e Vegetais em Aquaponia**. Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, ISSN 1678-1937, 189. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015.

CERQUEIRA, D. C. O. **Manejo e Qualidade da Água em Sistemas Aquapônicos**. Murici: Editora Realize, 2020. E-Book. Disponível em: https://www.editorarealize.com.br/editora/ebooks/conedu/2020/ebook1/TRABALHO_EV140_MD7_SA100_ID2616_26082020230902.pdf. Acesso em: 10/04/2022.

CORRÊA, B. R. S. **Aquaponia Rural**. Dissertação apresentada ao curso de Mestrado do Programa de Pós-graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento Rural, da Faculdade UnB Planaltina, da Universidade de Brasília (UnB), como requisito para a obtenção do grau de Mestre. Disponível em : https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/32828/1/2018_BernardoRamosSim%C3%B5esCorr%C3%Aaa.pdf. Acesso em: 23/05/2022.

CUNHA, K. C. B. da; ROCHA, R. V. **Automação no processo de irrigação na agricultura familiar com plataforma Arduino**. RECoDAF .Revista Eletrônica Competências Digitais para Agricultura Familiar, Tupã, v. 1, n. 2, p. 62-74, jul./dec. 2015. ISSN: 2448-0452. Disponível em: <https://owl.tupa.unesp.br/recodaf/index.php/recodaf/article/view/13>. Acesso em: 19/06/2022.

DAMÁSIO, B. F. **Análises Bi e Multivariadas**. Psicometria – Desenvolvimento de pesquisadores e consultores com ênfase em Psicometria e Análise de Dados. Disponível em: <https://psicometriaonline.com.br/blog/o-que-e-correlacao-de-spearman/#:~:text=Como%20o%20nome%20j%C3%A1%20d%C3%A1,outra%20vari%C3%A1vel%20aumenta%20ou%20diminui>. Acesso em: 19/03/2023.

DATE, C. J. **Introdução a Sistemas de Bancos de dados**. Tradução da 8 edição: Daniel Vieira. Rio de Janeiro: Elsevier, 2004.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Rio de Janeiro. p. 74. Interciência, 1998.

FAROOQ, M. U., WASSEM, M., MAZHAR, S. KHAIRI, A., KAMAL, T. **A Review on Internet of Things (IoT)**. International Journal of Computer Applications(0975 8887). V 113. n. 1, mar. 2015. Disponível em: <https://www.ijcaonline.org/archives/volume113/number1/19787-1571>. Acesso em: 10/04/2023.

FOGAÇA, F. Artigo - **O protagonismo do Brasil na produção mundial de pescado**. Junho. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/53738345/artigo—o-protagonismo-do-brasil-na-producao-mundial-de-pescado>. Acesso em: 04/04/2022.

FRANCO, I. A., FRANKE, C. R. **Aspectos Socioambientais da Aquicultura na Região do Baixo São Francisco**, Sergipe, Brasil. Revista Meio Ambiente e Sustentabilidade. Versão on-line ISSN2319-2856. Volume14, número 7. Curitiba – PR. jan/jun-2018. Disponível em: <https://www.revistasuninter.com/revistameioambiente/index.php/meioAmbiente/article/download/824/327>>. Acesso em: 10/02/2022.

FAO. 2016a. **Report of the FAO technical workshop on advancing aquaponics: an efficient use of limited resources**, Bogor, Indonesia, 23–26 November 2015. FAO Fisheries and Aquaculture Report No. 1133. Rome, Italy. 71p. 2016. Disponível em: <https://www.fao.org/3/i5543e/i5543e.pdf>. Acesso em: 23/05/2022.

GARCIA, V. S.; SOTTO, E. C. S. **Comparativo entre os modelos de banco de dados relacional e não-relacional**. Revista Interface Tecnológica, [S. l.], v. 16, n. 2, p. 12–24, 2019. DOI: 10.31510/infra.v16i2.673. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/673>. Acesso em: 14 mar. 2023.

GOMES, L. M. C., et al. **ARDUINO: Automatização da Coleta de Dados na Irrigação**. Revista Conexão. Disponível em: <https://docplayer.com.br/55110321-Arduino-automatizacao-da-coleta-de-dados-na-irrigacao.html>. Acesso em: 23/05/2022.

HAGBORG, H. D. **Arduino & RS-232 Protocol**. Documentação oficial Arduino.cc. Disponível em: <https://docs.arduino.cc/tutorials/communication/rs-232>. Acesso em: 15/03/23.

IVANOVICH, B. V. et al. **Using mvc pattern in the software development to simulate production of high cylindrical steel ingots**. Journal of Crystal Growth, v. 526, p. 125240, 2019. ISSN 0022-0248. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.jcrysgr.2019.125240>. Acesso em: 10/04/2023.

KIANE, R. **Arduino: uma plataforma de prototipagem eletrônica**. Via Revista. Conheça o Arduino e seu papel no makerplace. Jul. 2019. Disponível em: <https://via.ufsc.br/arduino-e-o-seu-papel-no-makerspace/#:~:text=Arduino%3A%20uma%20plataforma%20de%20prototipagem,forma%C3%A7%C3%A3o%20em%20eletr%C3%B4nica%20e%20programa%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 20/06/2022.

KUBITZA, F. **Os caminhos para uma piscicultura sustentável**. Revista Panorama da Aquicultura, v. 20, n. 119, 2010. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/os-caminhos-para-uma-piscicultura-sustentavel/>. acesso em: 04/04/2022.

KUBITZA, F. **A relação entre pH, gás carbônico, alcalinidade e dureza e sua influência no desempenho e saúde dos peixes e camarões**. Revista Panorama da Aquicultura, ISSN 1519-1141, 2017. Disponível em: <https://panoramadaaquicultura.com.br/a-agua-na-aquicultura-ph-gas-carbonico-alcalinidade/>. Acesso em: 31/03/2023.

LOCATELI, C. **Como usar o Sensor de Temperatura – DS18B20. Portal Curto Circuito**. Disponível em: <https://curtocircuito.com.br/blog/Categoria%20Arduino/como-utilizar-o-ds18b20>. Acesso em: 08/02/2023.

MARCHIORI, N., SILVA, B. C., **Importância do Manejo Alimentar na Criação de Tilápia. Centro de Desenvolvimento de Aquicultura e Pesca**. EPAGRI/Itajaí-SC. Abril 2018. Disponível em: https://docweb.epagri.sc.gov.br/website_epagri/Cedap/Folder/34-Piscicultura-tilapia-gestao-nutricao.pdf. Acesso em: 12/09/2022.

MEDEIROS, f., et all. **Anuário Brasileiro da Piscicultura PEIXE BR 2023**. Veículo oficial da Associação Brasileira da Piscicultura. Pinheiros São Paulo/SP - Brasil p. 4. Disponível em: <https://www.peixebr.com.br/Anuario2022/AnuarioPeixeBR2022.pdf?>. Acesso em: 04/08/2023.

- MERCANTE, C. T. J., PEREIRA, L. P. F. **A amônia nos sistemas de criação de peixes e seus efeitos sobre a qualidade da água. Uma revisão.** B. Inst. Pesca, São Paulo – 2005. Disponível em: https://www.pesca.agricultura.sp.gov.br/Pereira_31_1.pdf. Acesso em: 19/04/2022.
- MUNAWAR, B. W. G.; WAHYU, U. **Performance comparison of native android application on mvp and mvvm.** 2020. Doi <https://doi.org/10.2991/aer.k.201221.047>. Disponível em: <https://www.atlantis-press.com/proceedings/issat-20/125949769>. Acesso em: 10/04/2023.
- NETO, C., VARGAS, A., CHAPETTA, M., FERREIRA, C. **Arquitetura TCP/IP Empregada em Redes Interconectadas.** REVISTA DE TRABALHOS ACADÊMICOS - CAMPUS NITERÓI, América do Norte, 1, mai. 2019. Disponível em: <http://www.revista.universo.edu.br/index.php?journal=1reta2&page=article&op=view&path%5B%5D=7635&path%5B%5D=3792>. Acesso em: 15/03/2023.
- OLIVEIRA, R. C. **O Panorama da Aquicultura no Brasil: A Prática com Foco na Sustentabilidade.** Revista Intertox de Toxicologia, Risco Ambiental e Sociedade. Perdizes, SP, vol.2, nº1, fev, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.22280/revintervol2ed1.18> . Acesso em: 03/04/2022.
- OSTI, E. W. A., PEREIRA, R. B. O. **Análise de Desempenho do banco de dados SQL Server em Infraestruturas On Premise e Cloud.** REVISTA DE TECNOLOGIA INVEST. Volume 5, número 1, dezembro de 2021. Disponível em: <http://revista.institutoinvest.edu.br/index.php/revistainvest/article/view/58/32>. Acesso em: 15/03/2023.
- PICCOLI, M. S. Q., PANIZZON M. **A Popularização do Conhecimento Científico como Forma de Interação entre a Academia e a Sociedade.** Revista Brasileira de Pós-Graduação – RBPG, ISSN (on-line): 2358-2332. Brasília, v.17, n. 37, jan./jun., 2021. Disponível em: https://www.fct.unesp.br/Home/Departamentos/Educacao/AlbertoGomes/aula_consideracoes-sobre-a-pesquisa.pdf. Acesso em: 11/09/2022.
- PINO, F. A. **A Questão da não Normalidade: Uma revisão.** Revista de Economia Agrícola, São Paulo, v. 61, n. 2, p. 17-33, jul.-dez. 2014. Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br/ftp/iea/publicar/rea2014-2/rea2-22014.pdf>. Acesso em: 17/03/23.
- QUEIROZ, J. F., et al. **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia.** Documento 113. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP. 2017. Disponível em: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/178041/1/2018DC01.pdf>. Acesso em: 23/05/2022.
- QUEIROZ, W. R. O., SOUSA, W. Q. **A importância da plataforma arduino no meio acadêmico.** Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento. Ano 03, Ed. 08, Vol. 12, pp. 123-133, Agosto de 2018. ISSN: 2448-0959. Disponível em: <https://www.nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/meio-academico>, DOI: 10.32749/nucleodoconhecimento.com.br/engenharia-eletrica/meio-academico. Acesso em: 23/05/2022.

QUEIROZ, J. F., BOEIRA, R. C. **Determinação do percentual de troca de água em função do acúmulo de amônia (NH₃) nos viveiros de piscicultura.** CT 47. ISSN 1516-8638. Embrapa Meio Ambiente. Jaguariúna, SP. 2008. Disponível em: <http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/31730>. Acesso em: 23/05/2022.

REGAZZI, A. J. **Teste para Verificar a Igualdade de Parâmetros e a Identidade de Modelos de regressão não-linear.** Revisat Ceres, p. 50(287), Viçosa/MG, 2003. Disponível em: <https://www.locus.ufv.br/bitstream/123456789/20847/1/artigo.pdf>. Acesso em: 17/03/2023.

RIBOLDI, J. **Análise de Variância.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul – Instituto de Matemática. Serie: B, n. 27, Porto Alegre, Março de 1995. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/205057/001082678.pdf?sequence=1>. Acesso em: 17/03/2023.

SANTOS, D. C. Et al. **Uso da Linguagem C++ em Computador Embarcado de Alta Capacidade para Eficientização Energética em Tratores.** Revista Brasileira de Milho e Sorgo, v. 17, n. 2, p. 340-352, ISSN 1980-6477, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1096590/uso-de-linguagem-c-em-computador-embarcado-de-alta-capacidade-para-eficientizacao-energetica-em-tratores>. Acesso em: 13/09/2022.

SANTOS, M. V. B. Et al. **Desenvolvimento de Sistema Automático de Análise de pH e Temperatura da Água para Aquicultura.** IX Computer on the Beach. Florianópolis – SC, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/340006356>. Acesso em: 13/09/2022.

SANTOS, R. S., **Sistema IOT para controlar remotamente ar condicionados através de um servidor WEB.** Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Faculdade UnB Gama da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de bacharel em engenharia eletrônica, Faculdade UnB Gama, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 64p. Disponível em: <https://bdm.unb.br/handle/10483/27822>. Acesso em: 15/03/2023.

SILVA, G. H. G.. **Aplicação backend para consulta de dados de geoposicionamento de ônibus e previsão de chegada.** 2017. 38 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciência da Computação) – Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2017

SILVA, J. L. S.; CAVALCANTE, M. M.; CAMILO, R. S.; GALINDO, A. L.; VIANA, E. C. **Plataforma Arduino integrado ao PLX-DAQ: Análise e aprimoramento de sensores com ênfase no LM35.** In: XIV Escola Regional de Computação Bahia, Alagoas e Sergipe (ERBASE). Feira de Santana, BA, 2014. Disponível em: <http://penta3.ufrgs.br/RENOTE/RENOTE-2020-2/trabalhos-selecionados-2020-2/212135.pdf>. Acesso em: 20/06/2022.

SIQUEIRA, R. S., BRANCO, R. C., ARAUJO, R. B, COSTA, G. B. C. **Sistema Automatizado para Criação de Peixes com Recirculação de Água**. Congresso Brasileiro de Engenharia de Pesca – XXI Conbep. Manaus – AM. 2019. p. 1508. Disponível em:

http://servicos.conbep.com.br/uploads/files/trabalhos/trabalho_507.pdf. Acesso em: 08/02/2023.

SOMERVILLE, C., COHEN, M., PANTANELLA, E., STANKUS, A. & LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production. Integrated fish and plant farming**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper No. 589. Rome, FAO. 262 pp. 2014.

Disponível em: <https://www.fao.org/3/i4021e/i4021e.pdf>. Acesso em: 22/03/2023.

STRAUB, M. G. **Sensor de pH de Arduino: como calibrar e configurar?**.

Usinainfo Eletrônica e Robótica. Disponível em:

<https://www.usinainfo.com.br/blog/sensor-de-ph-arduino-como-calibrar-e-configurar/>. Acesso em: 22/03/2023.

TANENBAUM, A. S., **Redes de Computadores** / Andrew S. Tanenbaum; tradução Vanderberg D. de Souza – Rio de Janeiro: Elsevier, 2003 – 15 impressão.

ZADINELO, I. V. **Avaliação de Elemento Filtrante à Base de Quitosana na Aquicultura**. Tese (Doutorado em Zootecnia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná – Campus de Marechal Cândido Rondon. Marechal Cândido Rondon, PR. p 35. 2018. Disponível em: <http://tede.unioeste.br/handle/tede/4084>. Acesso em: 10/02/2021.

ZAMARCO, J. V. S. **Avaliação do tamanho de gotas na deposição da pulverização e controle de percevejos na soja**. Universidade Estadual Paulista (Unesp), 2022. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/235773>>. Acesso em: 23/04/2023.

ANEXO 1

CÓDIGO DO MÓDULO SKETCH

[https://github.com/jonigund/mestrado/blob/main/Firm_Project0.0.3/
Firm_Projeto0.0.3/Firm_Projeto0.0.3.ino](https://github.com/jonigund/mestrado/blob/main/Firm_Project0.0.3/Firm_Projeto0.0.3/Firm_Projeto0.0.3.ino)

CÓDIGO DO MÓDULO PYTHON DE GERENCIAMENTO DE ARMAZENAMENTO

<https://github.com/jonigund/mestrado/blob/main/src/ex003.py>

CÓDIGO DO MÓDULO PYTHON DE INTERFACE GRÁFICA

<https://github.com/jonigund/mestrado/blob/main/src/Main.py>

CÓDIGO DO MÓDULO PYTHON DE REGRAS DE NEGÓCIO

<https://github.com/jonigund/mestrado/blob/main/src/INA.py>

CÓDIGO DO MÓDULO PYTHON ESTATÍSTICAS

<https://github.com/jonigund/mestrado/tree/main/Estat>