

**FELIPE SOARES MENDES**

**Sistema de monitoramento de parâmetros ambientais na piscicultura:  
redes *IOT***

São Paulo  
2023

**FELIPE SOARES MENDES**

Versão Revisada

**Sistema de monitoramento de parâmetros ambientais na piscicultura:  
redes *IOT***

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Área de concentração: Microeletrônica

Orientador: Prof. Livre-Docente Walter Jaimes Salcedo

São Paulo  
2023

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

Este exemplar foi revisado e corrigido em relação a versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 15 de dezembro de 2023

Assinatura do autor:



Assinatura do orientador:



#### Catálogo-na-publicação

Mendes, Felipe Soares

Sistema de monitoramento de parâmetros ambientais na piscicultura: redes IOT / F. S. Mendes – versão corr. – São Paulo, 2023.  
98 p.

Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos.

1.Monitoramento Ambiental 2.Sensores ópticos 3.Internet das Coisas  
I.Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia de Sistemas Eletrônicos II.t.

Nome: MENDES, Felipe Soares

Título: SISTEMA DE MONITORAMENTO DE PARÂMETROS AMBIENTAIS NA PISCICULTURA: REDES IOT

Dissertação apresentada à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr.

---

Instituição:

---

Julgamento:

---

Prof. Dr.

---

Instituição:

---

Julgamento:

---

Prof. Dr.

---

Instituição:

---

Julgamento:

---

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço à Deus, por me sustentar até este momento e sempre me guiar em seus caminhos à qual fundamento minha fé. Agradeço à minha família que sempre me apoiou continuamente dispostos a ajudar, minha mãe Rosiléia e aos meus irmãos Fábio e Ana Vitória.

Agradeço aos meus amigos que sempre estiveram dispostos a ajudar, a contribuir e a somar para meu desenvolvimento. Professor Walter Salcedo, meu orientador, que posso chamá-lo de amigo, que nos trata (seus orientados) como filhos. Mauro, um dos meus professores na graduação e que hoje tenho como amigo para o resto de minha vida, agradeço a ele e sua família. Fátima e Borysow são grandes amigos que, também, têm meu profundo agradecimento, dentro outros do nosso grupo de pesquisa ao qual sou grato: Edmilson, César, André, Thiago, Cláudio, Daniel etc.

Agradecimento aos meus amigos que são praticamente da família Inácio Farias, Felipe Albero, Alan, Eudes, Larissa, Fausto, Raquel, Bruno Rosa, Klysmann, Pedro Franco, Guilherme Mateus, Matheus Cintra, Ana Beatriz. Aos meus familiares: tio Eldo, tia Creuza e a todos os outros que não me recordei de colocar os nomes neste texto.

Aos colegas que conheci nesse percurso do mestrado: Eduardo e Daniel do instituto Eldorado, Vicente, Ana e Jorge, da Embrapa, Rodrigo da UNB e entre muitos outros que não mencionei, meus sinceros agradecimentos.

Também agradeço àqueles que já faleceram Pascoal e Cavalcante, que tiveram suas parcelas de contribuição no meu desenvolvimento até aqui.

Agradecimento especial aos profissionais da Escola Politécnica da USP que formam toda essa estrutura que possibilita desenvolver coisas grandiosas. Se, porventura, me esqueci de alguém, eu peço perdão e agradeço ainda assim.

Eu decidi ficar com amor. O ódio é um  
fardo muito grande para carregar.

**Martin Luther King Jr**

## RESUMO

A criação de peixes exige controle sobre a qualidade da água do ambiente utilizado tanto para garantir a produtividade da piscicultura quanto para minimizar os impactos ambientais da atividade no meio ambiente. Neste contexto o presente trabalho apresenta a proposta de um sistema de monitoramento de parâmetros ambientais voltados para a piscicultura utilizando redes IoT e sensores multiespectrais. O sistema utiliza dos princípios ópticos das variáveis de estudo, tais como clorofila-a (Chl-a), CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*) e Turbidez para relacionar a resposta dos sensores multiespectrais com as concentrações dos parâmetros monitorados. O sistema de monitoramento é composto por um módulo de controle composto por uma placa ESP32 com módulo WiFi integrado, um controlador de corrente dos LED's (*Light Emitting Diode*) de excitações, sensor multiespectral, uma interface local e uma bateria. O sistema proposto está composto de duas sondas, uma de temperatura constituída por material impermeável PVC *Aquatherm* e uma rede de sensores DS18B20 conectados em um barramento de comunicação digital OneWire configurados com um circuito de autoendereçamento; e a outra sonda constituída por material polimérico escuro (ABS) para inibir a interferência de luz externa, e fibra óptica para conduzir a luz entre o módulo de controle e o meio de monitoramento. A configuração do controlador foi realizada em ambiente de desenvolvimento em linguagem C++, com comunicação sem fio a Internet para transmissão dos dados e disponibilização em um servidor em nuvem com visualização em um *front-end web*. O sistema integrado com todas as unidades descritas acima mostra ser um sistema portátil, configurável, eficiente, e de baixo custo para o monitoramento de parâmetros ambientais da piscicultura, possibilitando o acompanhamento remoto das condições do meio aquático utilizado na piscicultura. Os resultados obtidos com o sistema proposto mostraram uma elevada reprodutividade em relação aos sistemas comerciais no sensoriamento de Chl-a, CDOM e turbidez. O sistema de monitoramento de gradiente de temperatura mostrou precisão de mediação de gradientes de temperatura de até 0,5 °C de diferença.

**Palavras-chave:** Monitoramento Ambiental. Sensores ópticos. Sensores multiespectrais. Internet das Coisas.

## ABSTRACT

Fish farming requires control over the water quality of the environment used to guarantee the efficiency of fish farming and to minimize the environmental impacts of the activity on the environment. In this context, the present work presents a proposal for a monitoring system for environmental parameters aimed at fish farming, using IoT networks and multispectral sensors. The system uses the optical methods of the study variables, such as chlorophyll A, CDOM and Turbidity to establish a relationship between the response of the multispectral sensors with the monitoring of the monitored parameters. The monitoring system consists of a control module consisting of an ESP32 board with an integrated WiFi module, an excitation diode current driver, multispectral sensor, a local interface and a battery; there are two immersion probes, a temperature probe applied by waterproof material and a network of DS18B20 sensors connected to a OneWire digital communication bus configured with an automatic addressing circuit; and another probe applied by dark polymeric material to inhibit the interference of the external light and the optical fiber to conduct the light between the control module and the monitoring medium. A controller configuration was developed in the development environment in C++ language, with wireless communication on the Internet for data transmission and availability on a cloud server with responses on a front-end web. The integrated system with all the units described above shows a portable, configurable, efficient and low cost system for monitoring the environmental environments of fish farming, enabling remote monitoring of the conditions of the environment. The results obtained with the proposed system showed high reproducibility in relation to commercial systems in sensing Chl-a, CDOM and turbidity. The temperature gradient monitoring system showed accuracy in measuring temperature gradients of up to 0.5 °C difference.

**Keywords:** Environmental Monitoring. Optical sensors. Multispectral sensors. Internet of Things.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Princípio de Detecção do Oxigênio baseado na fotoluminescência do material fosforescente PtOEP. (LEE; OKURA, 1998).....	21
Figura 2. Representação do deslocamento de fase na emissão fluorescente (MCDONAGH et al., 2001).....	22
Figura 3 - Estrutura molecular da clorofila A (NELSON; COX, 2005).....	24
Figura 4 - Espectros de Absorção e Emissão da Clorofila A (SHI et al., 2019).....	24
Figura 5 - Entradas e saídas do Lock-in.....	32
Figura 6 - Diagrama de Blocos do Amplificador Lock-in, estrutura interna .....	32
Figura 7 - Exemplo de sinal modulado dentro dos multiplicadores do PSD, sendo (a) o produto da entrada e a referência - $V_{psd}$ e (b) o produto da entrada pela referência desfasada em $90^\circ$ gerando $V'_{psd}$ . (SANTOS;SALCEDO, 2014; NUNES; ALBURQUERQUE, 2006) .....	34
Figura 8 - Configuração de Ligação Parasita do sensor DS18B20. Disponível em: < <a href="https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf">https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf</a> >. Acesso em: 10/09/2019 .....	47
Figura 9 - Configuração de Ligação do sensor DS18B20 com alimentação externa. Disponível em: < <a href="https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf">https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf</a> >. Acesso em 10/09/2019.....	47
Figura 10 - Ilustração dos módulos da sonda de temperatura (DS18B20) em diferentes profundidades com os sensores aproximados .....	48
Figura 11 - Diagrama do Circuito de Auto Endereçamento Modular.....	49
Figura 12 - Interface do usuário na plataforma Tago.io para exibição dos dados de leitura da sonda de temperatura em diferentes profundidades em tempo real.	50
Figura 13 - NodeMCU baseado em ESP8266, principais componentes. Fonte: Espressif. ....	53
Figura 14 – Ampliação do módulo controlador .....	54
Figura 15 - diagrama de blocos da comunicação entre os sensores.....	54
Figura 16 - Comunicação com servidor via wifi e internet .....	55
Figura 17 - Sonda de imersão com sensores multiespectrais .....	56
Figura 18 - Topologia da Rede de sensores e comunicação com o servidor em nuvem .....	57

Figura 19 - Ilustração das sondas de imersão e o módulo de controle..... 58

## LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

OD	Oxigênio Dissolvido
IoT	<i>Internet Of Things</i>
CDOM	<i>Colored Dissolved Organic Matter</i>
LoRaWAN	<i>Long Range Low Power Wide Area Network</i>
LoRa	<i>Long Range</i>
LPWAN	<i>Low Power Wide Area Network</i>
WAN	<i>Wide Area Network</i>
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
IVA	Índice de qualidade de água para proteção da vida aquática
AC	<i>Alternate Current</i> (Corrente Alternada)
CA	Corrente alternada
PSD	<i>Phase Sensitive Detector</i> (Detector Sensível de Fase)
DC	<i>Direct Current</i>
cc	<i>Corrente contínua</i>
DSP	<i>Digital Signal Processing</i>
IHM	Interface Homem-Máquina
SDK	<i>Software development kit</i>
CI	Circuito Integrado

## LISTA DE SÍMBOLOS

pH	Potencial Hidrogeniônico
chl-a	Clorofila-a
nm	nanômetro
$\mu g/l$	Micrograma por litro
Wifi	Wireless Fidelity
3G	Terceira geração de padrões e tecnologias da telefonia móvel
$\lambda$	Comprimento de Onda
PtOEP	Octaetilporfirina de Platina
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila
O <sub>2</sub>	Gás Oxigênio
C	Carbono
H	Hidrogênio
O	Oxigênio
N	Nitrogênio
Mg	Magnésio
i2c	<i>Inter-Integrated Circuit</i> - Protocolo de comunicação entre circuitos integrados
$V_{in}$	Sinal de entrada do Lock-in
$V_{ref}$	Sinal de referência do Lock-in
$V_{ref90^\circ}$	Sinal de referência do Lock-in atrasado em 90°
$V_{psd}$	Produto do sinal de entrada e referência do Lock-in
$V'_{psd}$	Produto do sinal de entrada e referência atrasado em 90° do Lock-in
$\theta$	Ângulo de defasagem entre o sinal de entrada e a referência do Lock-in
$\omega$	Velocidade angular
$U_1$	Valor médio de $V_{psd}$

$U_2$	Valor médio de $V'_{psd}$
$\Omega$	Ohms – unidade de resistência elétrica
Vcc	Tensão Contínua de alimentação do circuito
GND	Referência Elétrica do circuito
DATA	Condutor de Dados

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO.....	15
1.1. DETECÇÃO DE OXIGÊNIO.....	18
1.1.1. MÉTODO DE DETECÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO.....	19
1.2. DETECÇÃO DE CLOROFILA-A.....	22
1.3. OUTROS PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NA PISCICULTURA.....	25
1.4. O AMPLIFICADOR LOCK-IN .....	30
1.3.1. O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO LOCK-IN .....	31
1.3.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO LOCK-IN.....	36
1.5. TECNOLOGIAS IOT .....	37
a) LoRaWAN (Long Range Wide Area Network).....	41
b) SigFox.....	41
c) NB-IoT (Narrowband IoT).....	41
d) LTE-M (LTE-Machine) .....	42
OBJETIVOS.....	43
2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	44
2.2. JUSTIFICATIVAS.....	45
MÉTODOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS .....	46
3.1. PROJETO DE SONDA DE TEMPERATURA EM MULTI-PROFUNDIDADES .....	46
3.2. DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE EM PLATAFORMA EMBARCADA PARA APLICAÇÃO EM PSICULTURA .....	53
CONCLUSÕES.....	63
REFERÊNCIAS .....	65
ANEXO 1 – CÓDIGO FONTE (ESTRUTURA PRINCIPAL) .....	72

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um dos bens mais preciosos e necessários para o ser humano em todas as suas atividades. Desde o início das civilizações humanas, o desenvolvimento da sociedade e o crescimento das populações ocorreram, principalmente, em regiões de proximidade de rios, lagos e mares. O uso dos recursos hídricos para agricultura, pesca, higiene e alimentação, proporcionou o desenvolvimento das atividades humanas.

O uso deste recurso natural possui grande impacto na sociedade, permitindo o abastecimento necessário para o uso doméstico e produção industrial, a geração de energia elétrica, a irrigação de plantações agrícolas, e, no contexto deste trabalho, as práticas de piscicultura.

A pesca marítima como forma de obtenção de alimentos vem se tornando incapaz de suprir com eficiência as demandas de pescados para o consumo humano. Em um cenário onde a carne de peixe vem ganhando destaque no prato de inúmeras famílias, pois é uma carne rica em proteínas, vitaminas e minerais, é considerada mais saudável, quando comparada a de outros animais. Nesse contexto, a prática da piscicultura se desenvolve com o objetivo de abastecer o mercado consumidor, suprimindo uma demanda que se preocupa com a alimentação ideal (LOPES, 2012).

A qualidade da água utilizada para a piscicultura é um dos principais fatores para uma boa produtividade e necessitam de monitoramento constante para garantir a eficiência da produção e a manutenção e preservação do meio ambiente. A variação dos parâmetros que envolvem a criação de peixes pode comprometer em curto espaço de tempo toda a produção. Os parâmetros mais importantes são: temperatura, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, CDOM (*Colored Dissolved Organic Matter*), amônia, salinidade, clorofila-a entre outros.

O oxigênio dissolvido (OD) é crucial para a vida dos seres aquáticos e, geralmente, se torna um fator limitante para o cultivo de espécies em ambientes aquáticos. A decomposição de matéria orgânica, a presença de micro-organismos e algas no mesmo ambiente dos peixes provoca uma grande concorrência pelo oxigênio disponível no meio (LOURENÇO et al., 1999). Para a detecção de oxigênio

dissolvido, o emprego de instrumentos analíticos em conjunto com procedimentos metódicos experimentais tem sido amplamente utilizado (WANG et al., 2009; EBELING et al., 2009).

A aplicação de sensores fotoluminescentes para detecção de oxigênio molecular possui inúmeras vantagens quando comparado aos métodos típicos de sensoriamento eletroquímico, pois apresentam boa estabilidade, imunidade a efeitos de campos eletromagnéticos, o não consumo oxigênio do meio medido, além de não sofrer com interferências em processos de agitação (BRAGA, 2016).

Parte desse estudo é composto de um sistema optoeletrônico multiespectral portátil para o monitoramento em campo de OD em meio aquoso. O sistema é formado por matrizes de fotodetectores que captam sinais ópticos de fluorescência para detecção de oxigênio dissolvido em meio aquático utilizando-se de fibras ópticas. Uma fonte de luz por diodo emissor de luz (LED) é utilizada para excitação de moléculas corantes sensíveis ao oxigênio, em determinados comprimentos de onda. Este dispositivo sensor é um sistema portátil que pode ser aplicado facilmente em medições de qualquer ambiente aquático para detecção de OD, com monitoramento da dinâmica de crescimento bacteriano (OLIVEIRA, F. C., 2017).

O monitoramento de clorofila e da temperatura da água são de extrema importância para a piscicultura, pois cada espécie cultivada exige uma faixa ideal de temperatura para que a produção de biomassa animal seja maximizada de forma a aumentar a eficiência dos meios produtivos. Considerando que a concentração de clorofila-a (chl-a) é um indicador da presença de algas e micro-organismos na água e que estes competem com os peixes pelo oxigênio disponível no meio, seu monitoramento ganha alta importância.

Em estudos recentes, sensores ópticos baseados no princípio de fluorescência têm sido empregados para leituras de concentração de chl-a como indicador de eutrofização dos ambientes de cultura, excitando as moléculas de chl-a com um comprimento de onda de 460nm e detectando a fluorescência da chl-a em 680nm (WANG et al., 2012; SHI et al., 2019). Tais sensores possuem uma eletrônica embarcada capaz de processar os sinais luminosos e obter o parâmetro de concentração de clorofila-a em unidade de engenharia ( $\mu\text{g}/\text{l}$ ) e enviando os dados através de redes de internet das coisas (*Internet of Things* – IoT).

Aproveitando-se da propriedade fotoluminescente da chl-a que a faz absorver



energia luminosa de um comprimento de onda ( $\lambda$ ) específico, com pico principal em torno de 430nm, e emitir em outro comprimento, na região do vermelho, com pico principal em torno de 680nm, o método de detecção óptica utilizado neste trabalho usa um LED com comprimento de onda tal que excite as moléculas de chl-a e a emissão seja detectada pelo sensor óptico através de fotodiodos com filtros sensíveis à região próxima de 680nm. Dessa forma associa-se a intensidade de emissão do meio analisado com a concentração de chl-a.

O monitoramento da clorofila com dados obtidos por sensores orbitais ou hiper espectrais acoplados a drones, contribui de forma significativa na identificação de processos que influenciam sua variabilidade espacial e temporal, permitindo relacionar os processos ecológicos envolvidos (NOERNBERG et al, 2007). Porém, tal monitoramento requer um custo elevado de equipamentos, não possuem alta resolução espacial de leitura e, com isso, não se torna adequado para sensoriamento de pequenas regiões específicas de forma remota.

Os sistemas de monitoramento *in-situ* desempenham um papel fundamental no aprimoramento das estratégias de monitoramento remoto na avaliação da qualidade da água. Ao trabalhar em conjunto com satélites e outras tecnologias de observação à distância, esses sistemas proporcionam uma base sólida para uma aferição mais precisa e confiável dos parâmetros-chave da qualidade da água. Isso se traduz em uma maior capacidade de processamento de dados e na quantificação mais precisa de variáveis como a temperatura, o pH, a turbidez e a concentração de elementos químicos. A integração dessas abordagens complementares tem um impacto significativo no avanço da pesquisa científica e no monitoramento ambiental, possibilitando uma compreensão mais abrangente e precisa das condições dos corpos d'água (SMITH, J. et al., 2020 e JOHNSON, R. et. al., 2019).

Sensores baseados no princípio de medidas por fluorescência para detecção de parâmetros ambientais são vantajosos em relação a outros tipos de sensores, pois oferecem a possibilidade de miniaturização, possuem tempos de resposta menores que métodos eletroquímicos que dependem de processos de estabilização dos eletrodos (BERG, Jeremy M, 2012), não são facilmente contaminados pois possuem seletividade ao elemento de medição por conta do uso que comprimentos de onda específicos para excitação e, no caso de oxigênio e chl-a, não consomem material do meio (SANTOS, 2014). Por se tratar de sinais ópticos para detecção por fluorescência, a literatura reporta o uso de métodos de medição utilizando tanto a

medida de fase quanto a intensidade da resposta utiliza-se um amplificador *lock-in* que é largamente aplicado em detecção de sinais fracos, sendo muito eficiente em separar o sinal do ruído (SHI et. al., 2019). Em sistemas que utilizam filmes seletivos são aplicados os métodos de medição de fase utilizando amplificadores de sincronismo, denominados também de amplificadores *lock-in* para minimizar os efeitos ocasionados pela fotodegradação dos filmes (BRAGA, 2016; SANTOS, 2014).

O amplificador *Lock-in* é um dispositivo utilizado amplamente para extrair um sinal periódico de baixa intensidade em um ambiente ruidoso tomando como referência a frequência do sinal. Ele funciona como um filtro de banda estreita, que de forma ideal, mede somente uma componente de Fourier da resposta do sistema (SANTOS, 2014; SCOFIELD, 1993).

No presente trabalho descreve-se um sistema embarcado portátil com a utilização de sensores ópticos multiespectrais para monitoramento dos parâmetros ambientais *in loco*: concentração de clh-a, turbidez, CDOM (matéria orgânica dissolvida colorida) e temperatura da água, com a aplicação de redes de sensores com uso de tecnologias IoT através de redes de dados por Wifi, 3G e LoRaWAN transmitindo os dados e disponibilizando em ambiente em nuvem para monitoramento remoto de áreas de cultivo e manejo de peixes.

## 1.1. DETECÇÃO DE OXIGÊNIO

O oxigênio é fundamental para a manutenção da vida em meios aquáticos, uma vez que a quantificação de oxigênio dissolvido na água é caracterizada como um bom indicador para determinação da qualidade da água em rios, lagos, fontes de água e tanques rede para a criação de espécies aquáticas (BHARDWAJ, 2015; O'NEILL, 2015; TURNER et al., 2015). A quantidade de oxigênio dissolvido (OD) na água é essencial para o controle de produção do piscicultor, pois tal parâmetro indica a quantidade de oxigênio disponível para os seres daquele meio.

O oxigênio é indispensável para a maioria dos seres vivos do planeta, em especial os peixes, em que a maioria das espécies não sobrevive a concentrações abaixo de 4mg/L (PIVELI; KATO, 2006). O oxigênio dissolvido é também o elemento principal do metabolismo dos micro-organismos aeróbios que habitam as águas

naturais ou os reatores para tratamento biológico de esgoto para consumir a matéria orgânica presente (FERREIRA, 2007).

Portanto, na piscicultura é importante monitorar a concentração do oxigênio dissolvido considerando a interação entre a necessidade de oxigênio para a vida dos peixes e o seu consumo pelos micro-organismos na decomposição dos dejetos dos peixes e de alimentos que são lançados para a alimentação dos peixes.

Um dos índices utilizados no Estado de São Paulo pela CETESB (Companhia Ambiental do Estado de São Paulo) é o IVA (Índice de qualidade de água para proteção da vida aquática) onde a concentração de oxigênio dissolvido está entre as variáveis essenciais e recebe os maiores pesos das ponderações (CETESB, 2020). Para os peixes, o oxigênio dissolvido (OD) representa uma fonte importante para a manutenção da diversidade no sistema, pois é um fator abiótico, que em quantidade insuficiente pode prejudicar a qualidade do habitat, afetando a sobrevivência, o crescimento e a reprodução (MCKINSEY; CHAPMAN, 1998).

### **1.1.1. MÉTODO DE DETECÇÃO DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO**

Para medidas de oxigênio dissolvido em meios aquáticos, sensores eletroquímicos são normalmente empregues com uso de elétrodos de íons seletivos sensíveis apenas ao elemento (oxigênio), associado a um elétrodo de referência que mantém o seu potencial elétrico constante para obter o valor de leitura da concentração de OD do meio. O método faz uso de amplificadores operacionais para leitura dos potenciais elétricos em um voltímetro (SERAGUCI; RODA, 2009). Este tipo de instrumentação está sujeito a alterações no sinal de referência e deterioração dos elétrodos.

Para tal leitura, existe um outro método tradicional que determina a concentração de oxigênio dissolvido utilizando como elemento sensor um elétrodo amperimétrico denominado de Clark (CLARK, 1993). Tal sistema é composto pela aplicação de uma determinada tensão entre dois elétrodos, o que provoca o aparecimento de uma corrente de baixa intensidade pela redução eletrolítica do oxigênio dissolvida na solução. Esses elétrodos costumam ser frágeis, são suscetíveis a efeitos de agitação e consomem oxigênio do meio.

Uma outra estratégia para medição de OD é através de princípios ópticos, que são altamente imunes a ruídos eletromagnéticos e resistentes à corrosão

tornando-os confiáveis e repetitivos. O método utilizado, proposto por BRAGA,2016, segue uma vertente de dispositivos sensores baseados em supressão da fotoluminescência tendo como elemento sensível do sensor moléculas corantes orgânicas. Tal linha de desenvolvimento vem ganhando evidência devido à alta sensibilidade, zero consumo de oxigênio, facilidade de operação e possibilidade de integração em redes de sensores sincronizados em redes IoT para monitoramento em tempo real e à distância.

O composto de Octaetilporfirina de Platina (PtOEP) é especialmente adequado como elemento sensor de oxigênio pois esta molécula possui um elevado rendimento quântico de emissão na região visível do espectro quando é submetido à incidência luminosa e possui regiões de excitação e emissão distantes dentro do espectro da luz visível (deslocamento de Stokes). A maioria dos sensores ópticos baseados em moléculas de porfirinas com propriedades fotoluminescentes reportados na literatura tem tais moléculas imobilizadas em matrizes quimicamente resistentes de sol-gel, poliestireno (PS), silício poroso e outros (LEE; OKURA, 1998; SALCEDO; FERNANDEZ; RUBIM, 2004; BRAGA, 2016).

A supressão da fotoluminescência na molécula de PtOEP (octaetilporfirina de platina) devido à interação com o oxigênio ( $O_2$ ) está relacionada aos processos de transição de estados eletrônicos que ocorrem nessa molécula. Inicialmente, na molécula no estado fundamental ( $S_0$ ), os elétrons ocupam seus orbitais de energia mais baixa, não permitindo a emissão de luz visível. Quando a molécula de PtOEP é excitada, ocorre a transição para um estado excitado ( $S_1$ ), onde os elétrons absorvem energia e saltam para níveis de energia mais elevados. Essa dinâmica eletrônica é bem descrita na literatura (GOUTERMAN, M. et al., 1963.)

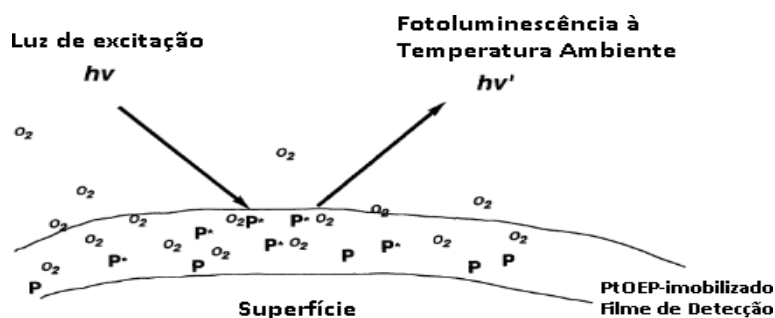
No entanto, a supressão da fotoluminescência ocorre quando há um cruzamento intersistema para o estado triplete ( $T_1$ ). Nesse estado, os elétrons apresentam spins não pareados, tornando-se sensíveis à interação com moléculas de oxigênio ( $O_2$ ). A interação com o  $O_2$  no estado triplete  $T_1$  leva à formação de espécies reativas de oxigênio, como o oxigênio singlete, amplamente discutido na literatura (FOOTE, C.S., 1968.), que são altamente reativas e podem causar a desativação não radiativa dos estados excitados da molécula de PtOEP. Isso resulta na supressão da fotoluminescência, ou seja, a molécula não emite luz visível como resultado da interação com o  $O_2$  no estado triplete.

Em resumo, a supressão da fotoluminescência na molécula de PtOEP ocorre

devido ao cruzamento intersistema para o estado triplete T1, onde a interação com o oxigênio leva à desativação não radiativa dos estados excitados, impedindo a emissão de luz visível. Esse fenômeno tem implicações importantes em aplicações de luminescência e fotoquímica, sendo relevante para a compreensão de processos fotoquímicos em sistemas sensíveis ao oxigênio.

A Figura 1 ilustra o princípio de detecção da concentração de oxigênio baseado na supressão da fotoluminescência do filme de PtOEP causada pela interação com o oxigênio (LEE; OKURA, 1998). As moléculas de PtOEP immobilizadas em uma matriz permeável ao oxigênio ( $O_2$ ) permite que ocorra a interação entre as moléculas, a excitação, e que a emissão ocorre em regiões diferentes do espectro visível permitindo a estabelecer relação entre a emissão e a concentração de  $O_2$  do meio.

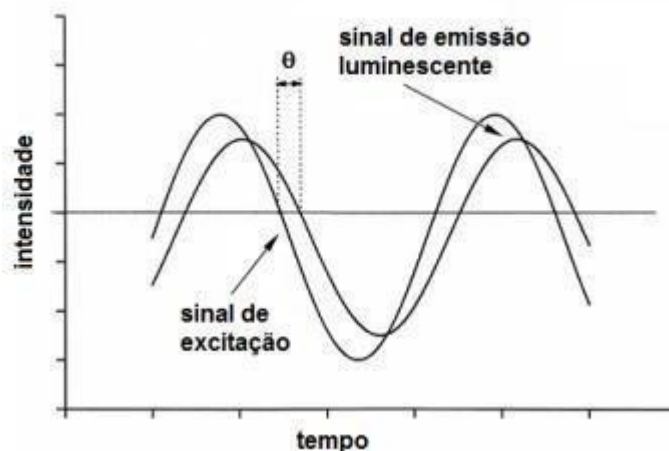
Figura 1. Princípio de Detecção do Oxigênio baseado na fotoluminescência do material fosforescente PtOEP. (LEE; OKURA, 1998)



Os dispositivos com moléculas de porfirinas quando expostos à luz incidente por um longo período de tempo estão susceptíveis a reduções nas intensidades de emissão fluorescentes, ocasionadas pela fotodegradação sofrida da membrana com o fluoróforo immobilizado. Métodos de espectroscopia de tempo de vida e fase apresentam melhores condições de detecção eletrônica e estabilidade temporal por não sofrerem alterações significativas com a fotodegradação do fluoróforo, além de serem independentes das variações nos ajustes do sistema óptico (GRILLO et al., 2005; BRAGA, 2016).

Para técnica de modulação de fase, os parâmetros de deslocamento de um sinal modulado de emissão óptica do fluoróforo são medidos como função da concentração do supressor no meio, neste caso, o oxigênio. Utilizando um sinal de excitação senoidal, produzirá um sinal de emissão fluorescente em resposta na mesma frequência de modulação da excitação, porém apresentará um deslocamento temporal de fase em relação ao sinal de excitação conforme apresenta a Figura 2 a seguir (BRAGA, 2016).

Figura 2. Representação do deslocamento de fase na emissão fluorescente (MCDONAGH et al., 2001).



Estabelecido por McDonagh, a relação entre o tempo de vida  $r$ , e o ângulo de fase  $\theta$ , para um decaimento exponencial simples é dado pela equação 1, sendo  $f$  a frequência de modulação (MCDONAGH et al., 2001).

$$\tan\theta = 2\pi fr \quad (1)$$

Compondo o sistema de monitoramento à distância proposto neste trabalho, utilizam-se as tecnologias de sensoriamento óptico apresentadas e estratégias de medidas da fluorescência, aplicando no monitoramento de ambientes de piscicultura com hardware eletrônico embarcado e sensores optoeletrônicos multispectrais desenvolvidos com integração a redes IoT para monitoramento remoto.

## 1.2. DETECÇÃO DE CLOROFILA-A

A chl-a A é o principal fotorreceptor da maioria das plantas, e é responsável por atribuir a cor verde para estas e está presente também em algas, cianofíceas, fitoplâncton e diversos protistas. A cor caracteristicamente esverdeada se deve às regiões de absorção da molécula de clorofila serem mais intensas no azul e vermelho do espectro eletromagnético (BERG, TYMOCZKO, STRYER, 2002), sendo representada pela seguinte fórmula molecular:

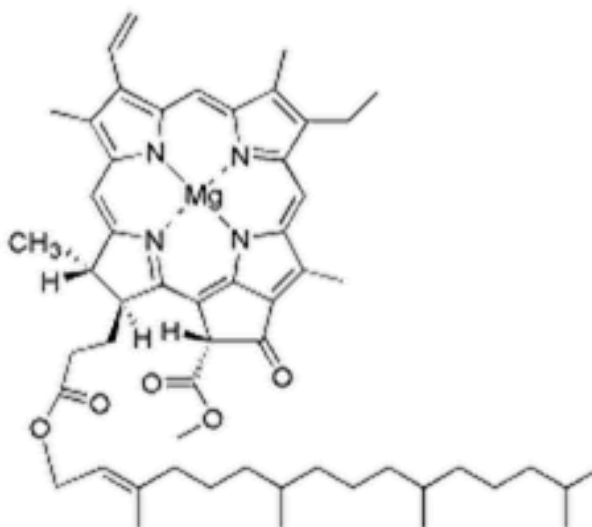


Os processos de excreção dos peixes, a matéria orgânica de alimentos não digeridos e a própria biota aquática geram elevações nas concentrações de compostos nitrogenados (LEE; LAWRENCE, 2001). Com altas concentrações de nitrato ocasionadas pelo manejo dos peixes e excesso de alimentação implica em matéria disponível em demasia para o fitoplâncton, fazendo com que aumente assim

a biomassa fitoplanctônica em ambiente propício com nutrientes e temperatura, e que pode ser expressa pela concentração de chl-a, pois o fitoplâncton pode ser definido como um conjunto de micro-organismos fotossintetizantes que vivem flutuando na parte superior das águas (KARJALAINEN et al, 1998; LACHI; SIPAÚBA-TAVARES, 2008).

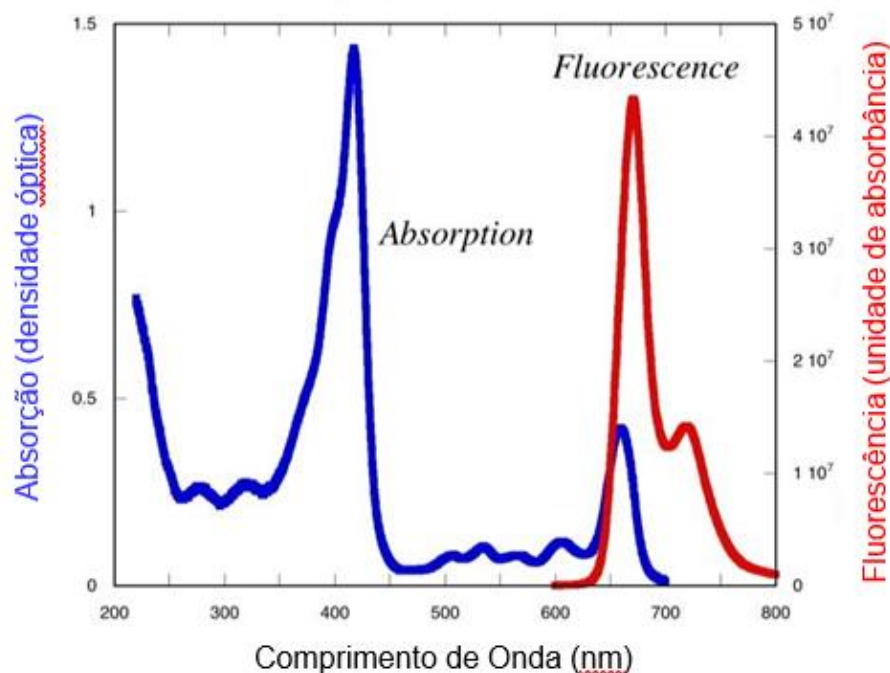
Em uma situação de *bloom* (fenômeno de proliferação rápida do fitoplâncton), com um aumento da biomassa presente no meio dadas as condições propícias descritas anteriormente, a água se torna esverdeada, tende a se tornar acastanhada quando todos os nutrientes do meio são consumidos e o fitoplâncton começa a morrer. A decomposição dos organismos mortos implica em um esgotamento do oxigênio na água e, assim, levando à morte dos peixes e outros organismos daquele meio aquático (HANSLMEIER et al., 2012). A chl-a é uma porfirina com estrutura molecular representada na Figura 3 a seguir.

Figura 3 - Estrutura molecular da clorofila-a (NELSON; COX, 2005).



A Figura 4 abaixo ilustra os picos da absorvância luminosa da clorofila, sendo que a absorvância está no eixo esquerdo das ordenadas e na cor azul, e no eixo das abcissas está o comprimento de onda ( $\lambda$ ), enquanto o espectro de emissão da molécula está no eixo vertical direito representado pela cor vermelha.

Figura 4 - Espectros de Absorção e Emissão da Clorofila A (SHI et al., 2019).



Dentre as características ópticas da clorofila-a (chl-a) está o espectro de absorção com picos característicos na região do azul e do vermelho apresentando uma região de baixa absorção na faixa do verde do espectro eletromagnético, e o espectro de emissão fluorescente dessa molécula possui um pico bem característico no vermelho próximo de 680nm e um pico secundário em 730nm, como pode ser facilmente visto na Figura 4, permitindo com que seja possível utilizar uma fonte emissora de luz no azul para excitação da chl-a, podendo observar a resposta fotoluminescente na região do vermelho utilizando fotodetectores.

A instrumentação utilizada neste trabalho está baseada no método de detecção direta de intensidade com uso de sensores optoeletrônicos multiespectrais do kit AS7341 da fabricante AMS comunicando com o sistema embarcando via protocolo de comunicação digital i2c para processamento do sinal, utilizando uma fonte de luz para excitar as moléculas de clorofila-a e capturar a resposta luminosa da amostra do meio pelos fotodiodos do sensor.

A medição por fluorescência da clorofila-a pode ser afetada por interferentes, como outros pigmentos na água, que podem influenciar a medição da fluorescência emitida pela clorofila a. Portanto, é importante ter em mente que a medição por fluorescência é uma técnica seletiva para a clorofila a, mas não é totalmente específica. A presença de outros pigmentos na água pode levar a uma



superestimação ou subestimação da concentração de clorofila a, dependendo da natureza dos pigmentos e da configuração do equipamento de medição. Assim, é necessário realizar uma calibração cuidadosa do equipamento e ter em conta possíveis interferentes ao interpretar os dados de concentração de clorofila a obtidos por medida de fluorescência (BHARDWAJ, J.; GUPTA, K. K., 2015).

### 1.3. OUTROS PARÂMETROS DE INFLUÊNCIA NA PISCICULTURA

Cada espécie de peixe possui uma faixa de temperatura ideal de criação no qual a conversão de biomassa (transformar ração em proteína animal) é máxima e como a temperatura varia em profundidades diferentes em função do horário do dia. Os peixes costumam permanecer em uma única faixa de profundidade do rio, o que torna o monitoramento da temperatura importante para acompanhar a movimentação do manejo e a prevenção do *bloom* monitorando a temperatura e controlando o uso de ração para não acumular matéria orgânica disponível em excesso no meio (ROTTA, 2003).

Os peixes procuram ficar em uma região da água em que a temperatura se encontre dentro de uma faixa de temperatura ideal que varia para cada espécie. Normalmente, a região próxima à superfície costuma ter a temperatura mais elevada por conta da maior incidência dos raios solares e a troca térmica da superfície da água com o ar. Regiões mais profundas dos ambientes aquáticos tendem a estarem com a menor temperatura do ambiente aquático, uma vez que é onde possui a maior pressão e onde chega uma menor intensidade de raios solares. Assim, como estas regiões tem redução de iluminação e de temperatura, a turbidez da água acaba influenciando diretamente na penetração dos raios solares, uma vez as partículas responsáveis por causar a turbidez da água espalham os raios eletromagnéticos da região do vermelho reduzindo assim penetração dos mesmos em regiões mais profundas.

A temperatura de um ambiente aquático está diretamente relacionada à fenômenos de eutrofização como o *bloom* que ocorre quando há muita matéria orgânica disponível no meio e que serve como alimentos para que micro-organismos do fitoplâncton que na condição de elevação de temperatura consomem a matéria orgânica disponível e, se proliferando rapidamente, elevando assim a eutrofização do sistema aquático.

Estudos apontam relação entre a turbidez da água e a eutrofização do ambiente aquático (JARVENPAA, et al., 2004). Sendo este parâmetro, também, listado nas recomendações da ANA (Agência Nacional das Águas) e em notas técnicas divulgadas pela EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) para piscicultores. Por conta do tamanho do particulado, é possível medir a turbidez através de sensores ópticos pelo espalhamento da luz na região do infravermelho próximo (NIR), tendo uma relação direta entre a luz emitida e a intensidade captada pelo sensor.

A matéria orgânica dissolvida na água é principalmente proveniente da decomposição do alimento utilizado para os peixes e dos demais organismos do ecossistema aquático e, em geral, uma grande gama desses compostos são opticamente ativos, sendo classificados como CDOM (matéria orgânica dissolvida colorida). Esses compostos absorvem a luz em um comprimento de onda curto, na região do azul, próximo ao ultravioleta, enquanto a água pura absorve a luz em um comprimento de onda maior, sendo mais próximo do vermelho. Essa característica faz com que águas com pouco ou nenhum CDOM tenham uma cor mais próxima do azul, como, por exemplo, o mar aberto, e águas que contenham grandes quantidades de CDOM podem variar a cor tendendo para colorações nos tons de marrom para o amarelo. Em geral, concentrações de CDOM mais elevadas são encontradas em águas doce e estuários onde as correntes do fluxo da água são menos intensas. Essa característica de elevação das concentrações de CDOM também aparecem em tanques escavados e tanques redes para criação de peixe por conta da baixa movimentação de água e excesso de matéria orgânica proveniente do manejo dos peixes (COBLE, 2007). O CDOM pode ser detectado através de métodos ópticos.

Tanto o CDOM quanto a clh-a absorvem a luz em uma faixa espectral muito próxima, ambos no azul, o que torna difícil diferenciar um do outro através de absorção, já que para utilização deste método é necessário utilizar absorvância ultravioleta específica a 254nm, porém a clorofila emite na região vermelha do espectro enquanto o CDOM tem faixa de emissão com pico mais próximo do verde, no centro do espectro visível. Essa característica óptica favorece a utilização do método de fluorescência para mensurar a concentração de CDOM no meio diferenciando-o dos compostos referentes à clorofila-a (PARA; et. al., 2010).

A turbidez é uma medida da quantidade de material em suspensão na água,

que pode incluir partículas inorgânicas, orgânicas, sedimentos e micro-organismos. Altos níveis de turbidez podem impactar negativamente a qualidade da água e o bem-estar dos organismos aquáticos, incluindo peixes criados em pisciculturas. Isso ocorre porque a turbidez pode afetar a disponibilidade de luz, a concentração de oxigênio e a taxa de sedimentação de partículas, que podem causar problemas respiratórios e alimentares para os peixes (BARRETO et al., 2020; HECHT et al., 2015).

O monitoramento da turbidez é, portanto, uma ferramenta importante na gestão de pisciculturas, permitindo que os criadores monitorem a qualidade da água e tomem medidas corretivas quando necessário. A medição da turbidez pode ser realizada por meio de equipamentos como turbidímetros, que fornecem uma medida objetiva e precisa da turbidez da água (BARRETO et al., 2020).

Existem vários métodos para medir a turbidez da água, incluindo métodos visuais, gravimétricos e instrumentais. Os métodos visuais, como o disco de Secchi, são os mais simples e baratos, mas menos precisos e objetivos. Este método consiste em medir a profundidade na qual um disco branco desaparece da vista do observador em um cilindro de amostra de água. Embora esse método não forneça uma medida quantitativa da turbidez, ele pode ser usado como um indicador geral da qualidade da água (APHA, 2017).

Os métodos gravimétricos, como o método de filtração e secagem, envolvem a coleta de uma amostra de água em um filtro de papel, que é seco e pesado para determinar a quantidade de material em suspensão na água. Esse método é mais preciso do que o método visual, mas é mais demorado e requer equipamento de laboratório especializado (APHA, 2017).

Os métodos instrumentais, como o turbidímetro, são os mais precisos e objetivos e são amplamente utilizados na indústria e em pesquisas científicas. Esses instrumentos medem a turbidez da água usando luz e detectores para medir a quantidade de luz dispersa pelas partículas em suspensão na água. Embora os turbidímetros sejam mais caros do que os métodos visuais e gravimétricos, eles são mais rápidos e precisos, e podem ser usados para monitorar a turbidez em tempo real (APHA, 2017).

A medição de turbidez por infravermelho é uma técnica relativamente nova que vem sendo cada vez mais utilizada na análise da qualidade da água. Esta técnica utiliza a interação da radiação infravermelha com as partículas em suspensão na

água, permitindo a medição da turbidez em tempo real, sem a necessidade de produtos químicos ou reagentes.

A medição de turbidez por infravermelho apresenta algumas vantagens em relação aos métodos ópticos tradicionais, como a insensibilidade à cor e a capacidade de medir amostras com alta concentração de sólidos em suspensão, sem a necessidade de diluição prévia (Lu et al., 2019). Além disso, esta técnica é capaz de distinguir entre partículas orgânicas e inorgânicas, o que pode fornecer informações adicionais sobre a qualidade da água (Tang et al., 2018).

Segundo estudos recentes, a medição de turbidez por infravermelho pode ser utilizada com sucesso para monitorar a qualidade da água em diversas aplicações, incluindo o monitoramento de rios e lagos, o controle de qualidade da água em estações de tratamento e o monitoramento da qualidade da água em sistemas de aquicultura (Lu et al., 2019; Tang et al., 2018).

Embora a medição de turbidez por infravermelho apresente diversas vantagens, ela também pode apresentar algumas limitações e desafios. Uma das principais limitações é a interferência da temperatura na medição, uma vez que a radiação infravermelha é sensível à temperatura e pode afetar a precisão da medição (Ding et al., 2020). Além disso, a presença de bolhas de ar na amostra pode causar interferência na leitura, especialmente em amostras com alta concentração de sólidos em suspensão (Lu et al., 2019).

Para superar essas limitações, algumas estratégias têm sido propostas. Uma delas é o uso de algoritmos de correção de temperatura, que permitem corrigir os efeitos da temperatura na medição de turbidez por infravermelho (Ding et al., 2020). Além disso, a agitação da amostra pode ajudar a reduzir a presença de bolhas de ar e melhorar a precisão da medição (Lu et al., 2019).

Outra estratégia é o uso de instrumentos de medição de turbidez por infravermelho com design especializado, que permitem a redução dos efeitos da temperatura e das bolhas de ar na medição (Tang et al., 2018). Além disso, o uso de calibrações específicas para cada tipo de amostra pode melhorar ainda mais a precisão da medição de turbidez por infravermelho (Ding et al., 2020).

A matéria orgânica dissolvida colorida (CDOM, sigla em inglês) é outro parâmetro importante na avaliação da qualidade da água em ambientes aquáticos, incluindo a piscicultura. A CDOM pode ser definida como a fração da matéria

orgânica dissolvida que absorve luz na faixa de comprimento de onda visível, o que resulta na coloração da água (Nelson et al., 2020). A presença de CDOM em excesso pode afetar negativamente a qualidade da água e a criação de peixes, uma vez que pode interferir na penetração de luz na água, na disponibilidade de oxigênio e na produção primária (Zhang et al., 2021). Por essa razão, o monitoramento da CDOM é fundamental para a manutenção da qualidade da água e o sucesso da produção de peixes.

Existem diferentes métodos de medição de CDOM, que variam em sua sensibilidade, especificidade, custo e facilidade de uso. Um dos métodos mais comuns é a espectrofotometria de absorção, que mede a quantidade de luz absorvida pela amostra de água em diferentes comprimentos de onda (Nelson et al., 2020). Outro método é a fluorescência, que mede a emissão de luz fluorescente pela amostra após excitação por uma fonte de luz ultravioleta ou visível (Fichot & Miller, 2010). A medição por fluorescência é particularmente útil porque a CDOM possui propriedades de fluorescência que são específicas para sua composição química, o que permite uma estimativa mais precisa de sua concentração (Coble, 2007).

Os métodos de medição de CDOM podem ser divididos em ópticos e químicos, sendo os ópticos mais comuns devido à sua alta sensibilidade e praticidade de uso. Dentre os métodos ópticos, a medição por fluorescência tem se mostrado uma técnica bastante promissora. A fluorescência ocorre quando moléculas orgânicas são excitadas por luz ultravioleta e emitem luz visível com um comprimento de onda maior do que o da luz de excitação. O CDOM possui características ópticas que permitem a sua excitação e emissão de luz fluorescente, sendo possível medir a sua concentração através da intensidade dessa fluorescência.

No entanto, a medição por fluorescência pode ser afetada por interferentes, como matéria particulada em suspensão e outras substâncias fluorescentes presentes na água, o que pode comprometer a seletividade do método. Dessa forma, é importante levar em consideração as características do ambiente em que a medição será realizada, para garantir a precisão e confiabilidade dos resultados.

Para minimizar os efeitos dos interferentes, uma estratégia é a utilização de filtros ópticos específicos para a emissão do CDOM, selecionando apenas a faixa de comprimento de onda que corresponde à sua fluorescência. Além disso, a utilização de calibrações específicas para a água em que a medição será realizada é fundamental para garantir a precisão dos resultados.

Em resumo, a medição por fluorescência é uma técnica promissora para a quantificação de CDOM em ambientes aquáticos, mas a seletividade do método pode ser afetada por interferentes. A utilização de filtros ópticos e calibrações específicas podem minimizar esses efeitos, garantindo resultados mais precisos e confiáveis.

#### 1.4. O AMPLIFICADOR LOCK-IN

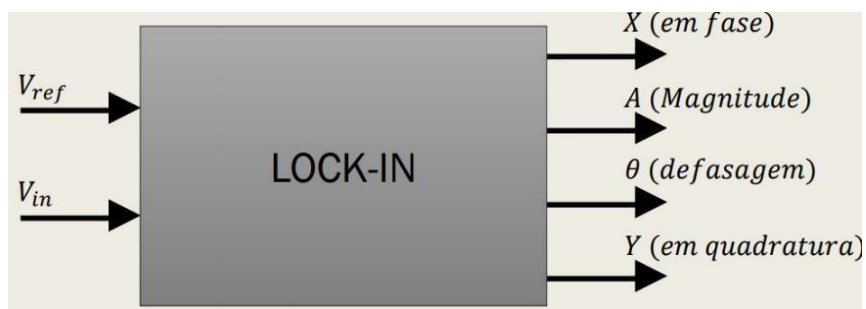
Aplicações baseadas em instrumentação para medidas de fluorescência de compostos fluoróforos dos parâmetros como: chl-a, CDOM e OD, podem ser aferidas por medida de fase que, conforme relata a literatura, permite melhor imunidade à interferentes nos sinais, nesse contexto utiliza-se à técnica do amplificador lock-in, podendo ser constituído por um circuito analógico ou um algoritmo digital.

O Amplificador Lock-in é um recurso amplamente utilizado para recuperação de sinais periódicos, especialmente em análises e experimentos laboratoriais, pois permite obter a amplitude e a fase relativa de um sinal AC em relação a um sinal de referência. O dispositivo se comporta como um filtro de banda estreita sintonizado na frequência do sinal de referência (RESENDE, 2008). Idealmente se comporta como um filtro e permite a medição de somente uma componente de Fourier da resposta do sistema. Como todo sinal elétrico submetido a tratamento de engenharia, possui contaminação de algum tipo de ruído ou mesclados com outros sinais que atrapalham as medições e que possuem amplitude, frequência e fase diferentes, estes nem sempre considerados ruídos, porém, de igual modo, precisam ser filtrados. As aplicações do amplificador Lock-in alcançam uma diversidade de áreas do conhecimento, desde a física experimental e a física moderna de partículas até estudos das propriedades ópticas em materiais, além de outras aplicações com processamento de sinais de baixa intensidade (SANTOS, 2014).

O dispositivo trabalha em sincronismo com um sinal de referência ( $V_{ref}$ ) para medir a fase ( $\theta$ ) e a amplitude do sinal de entrada ( $V_{in}$ ). Consiste, essencialmente, de um detector sensível de fase (PSD), no qual os sinais  $V_{in}$  e  $V_{out}$  são multiplicados, e filtrado por um filtro passa-baixa, que permite a passagem, somente, da componente DC do sinal. O PSD é considerado o coração do Lock-in, pois dentro dele são realizadas as principais operações do dispositivo. Normalmente, amplificadores Lock-in são construídos com duas entradas de sinais, uma para o sinal de referência e a outra para o sinal analisado (que vem da resposta do processo). Com a

multiplicação desses dois sinais de entrada no PSD obtemos dois sinais, denominados de componente em fase ( $X$ ) e a componente em quadratura ( $Y$ ) ambos dependentes de  $\theta$ , conforme é ilustrado na Figura 5 as indicações das entradas e saídas do dispositivo amplificador Lock-in (SANTOS, 2014).

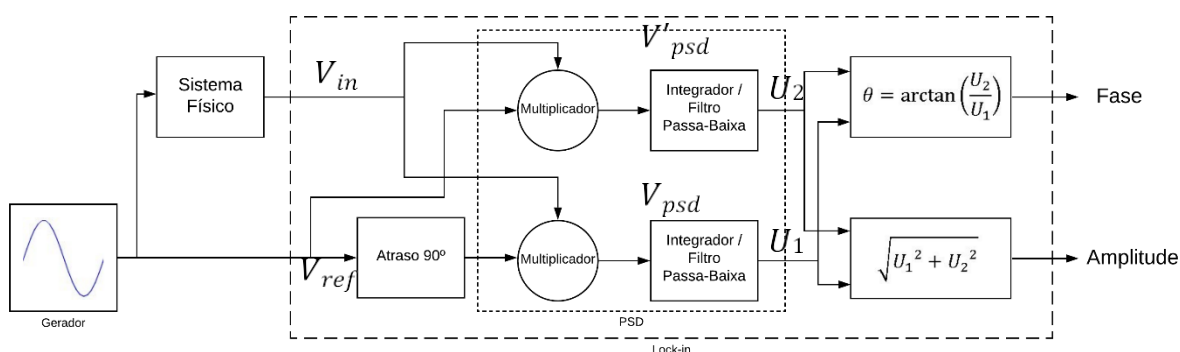
Figura 5 - Entradas e saídas do Lock-in.



### 1.3.1. O PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DO LOCK-IN

A detecção do sinal se baseia na multiplicação de um sinal de referência  $V_{ref}$  pelo sinal de entrada  $V_{in}$ , estas que possuem a mesma frequência  $f = \frac{\omega}{2\pi}$ , logo, a mesma velocidade angular  $\omega = 2\pi f$ , e uma defasagem de  $\theta$ . A Figura 6 ilustra o fluxo dos sinais dentro do dispositivo, desde a geração do sinal de referência e a entrada do sinal que vem do sistema físico, passando pelas etapas iniciais de amplificação, depois multiplicação dos sinais e filtragem (representados pelos blocos integradores), até as últimas etapas de cálculos aritméticos para obter a Magnitude (Amplitude) e a Fase referentes ao sinal de entrada como saídas do dispositivo.

Figura 6 - Diagrama de Blocos do Amplificador Lock-in, estrutura interna.



O princípio de funcionamento do amplificador do Lock-in representado no diagrama de blocos da Figura 6, está baseado nas equações abaixo apresentadas (SONNAILLON; BONETTO, 2005; ALBURQUERQUE et al., 2008; SANTOS, SALCEDO; 2014). Utilizando um sinal senoidal como referência descrito por  $V_{ref} = A \cos(\omega t)$ , e um sinal de entrada  $V_{in} = B \cos(\omega t + \theta)$  com uma defasagem  $\theta$  em relação ao sinal de referência, onde  $A$  e  $B$  são as amplitudes dos sinais  $V_{ref}$  e  $V_{in}$ , respectivamente,  $\omega$ , a velocidade angular e,  $t$ , o tempo, temos:

$$\begin{aligned} V_{ref} &= A \cos(\omega t) \\ V_{in} &= B \cos(\omega t + \theta) \end{aligned}$$

No bloco PSD temos a multiplicação dos sinais, gerando o sinal  $V_{psd}$ :

$$\begin{aligned} V_{psd} &= V_{in} V_{ref} \\ V_{psd} &= AB \cos(\omega t) \cos(\omega t + \theta) \\ \cos(\omega t + \theta) &= \cos(\omega t) \cos(\theta) + \sin(\omega t) \sin(\theta) \\ V_{psd} &= AB \cos(\omega t) [\cos(\omega t) \cos(\theta) + \sin(\omega t) \sin(\theta)] \\ V_{psd} &= AB [\cos^2(\omega t) \cos(\theta) + \cos(\omega t) \sin(\omega t) \sin(\theta)] \\ \cos^2(\omega t) &= \frac{\cos(2\omega t) + 1}{2} \\ \cos(\omega t) \sin(\omega t) &= \frac{\sin(2\omega t)}{2} \\ V_{psd} &= AB \left[ \frac{\cos(2\omega t) + 1}{2} \cos(\theta) + \frac{\sin(2\omega t)}{2} \sin(\theta) \right] \\ V_{psd} &= \frac{AB}{2} [(1 + \cos(2\omega t)) \cos(\theta) + \sin(2\omega t) \sin(\theta)] \\ V_{psd} &= \frac{AB}{2} [\cos(\theta) + \cos(\theta) \cos(2\omega t) + \sin(2\omega t) \sin(\theta)] \\ \cos(2\omega t + \theta) &= \cos(2\omega t) \cos(\theta) + \sin(2\omega t) \sin(\theta) \\ V_{psd} &= \frac{AB}{2} [\cos(\theta) + \cos(2\omega t + \theta)] \end{aligned}$$

De maneira semelhante temos a multiplicação do sinal de entrada pelo sinal de referência atrasado em  $90^\circ$   $V_{ref90^\circ}$ , sendo assim no segundo multiplicador do PSD temos:

$$\begin{aligned} V_{ref90^\circ} &= A \sin(\omega t) \\ V_{in} &= B \cos(\omega t + \theta) \\ V'_{psd} &= V_{in} V_{ref90^\circ} \end{aligned}$$



$$V'_{psd} = AB \sin(\omega t) \cos(\omega t + \theta)$$

$$V'_{psd} = AB \sin(\omega t) [\cos(\omega t) \cos(\theta) - \sin(\omega t) \sin(\theta)]$$

$$V'_{psd} = AB [\sin(\omega t) \cos(\omega t) \cos(\theta) - \sin^2(\omega t) \sin(\theta)]$$

$$V'_{psd} = AB \left[ \frac{\sin(2\omega t)}{2} \cos(\theta) - \frac{\cos(2\omega t) - 1}{2} \sin(\theta) \right]$$

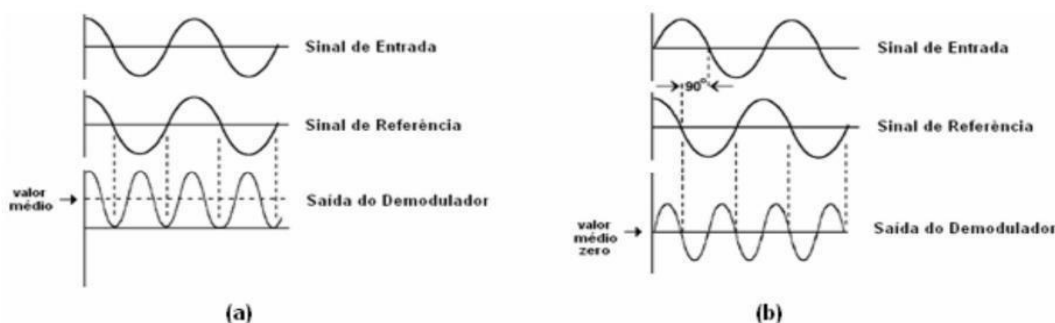
$$V'_{psd} = \frac{AB}{2} [\sin(2\omega t) \cos(\theta) + \sin(\theta) \cos(2\omega t) + \sin(\theta)]$$

$$V'_{psd} = \frac{AB}{2} [\sin(2\omega t + \theta) + \sin\theta]$$

Sendo  $V_{psd}$  definido pelo produto da referência e o sinal de entrada  $V_{in}V_{ref}$ , e denominado de valor em fase. O resultado obtido demonstra que se a amplitude de  $V_{ref}$  for mantida constante, o sinal  $V_{psd}$  é um sinal DC proporcional a amplitude do sinal de entrada  $V_{in}$  multiplicado pelo  $\cos\theta$  somado a um sinal AC modulado em  $2\omega t$ . Analogamente,  $V'_{psd}$  é um sinal DC proporcional a amplitude do sinal de entrada  $V_{in}$  multiplicado pelo  $\sin\theta$  somado a um sinal AC modulado em  $2\omega t$ .

A Figura 7 demonstra uma situação onde o amplificador Lock-in recebe como entrada um sinal livre de ruídos e utilizando como referência um sinal senoidal. No caso de (a) o sinal do Demodulador ( $V_{psd}$ ) é o produto do sinal de entrada e o de referência resultando em uma senoide com o dobro da frequência e com sua amplitude alterada para um valor médio positivo. Já em (b) vemos uma situação semelhante, porém, com uma defasagem de  $90^\circ$  no sinal de referência, tornando a saída com o dobro da frequência e com valor médio em zero.

**Figura 7 - Exemplo de sinal modulado dentro dos multiplicadores do PSD, sendo (a) o produto da entrada e a referência -  $V_{psd}$  e (b) o produto da entrada pela referência desfasada em  $90^\circ$  gerando  $V'_{psd}$ . (SANTOS;SALCEDO, 2014; NUNES; ALBURQUERQUE, 2006)**



No primeiro integrador  $U_1$  temos o inverso do período  $T$  multiplicando a integral de  $V_{psd}$  no intervalo de zero a  $T$ :

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{1}{T} \int_0^T V_{psd} dt \\
 U_1 &= \frac{1}{T} \int_0^T \frac{AB}{2} [\cos(\theta) + \cos(2\omega t + \theta)] dt \\
 U_1 &= \frac{1}{T} \left( \int_0^T \frac{AB}{2} \cos(\theta) dt + \int_0^T \frac{AB}{2} \cos(2\omega t + \theta) dt \right) \\
 U_1 &= \frac{AB}{2T} \left( \int_0^T \cos(\theta) dt + \int_0^T \cos(2\omega t + \theta) dt \right) \\
 U_1 &= \frac{AB}{2T} \left( \int_0^T \cos(\theta) dt + \int_0^T \cos(2\omega t) \cos(\theta) dt - \int_0^T \sin(2\omega t) \sin(\theta) dt \right)
 \end{aligned}$$

Observa-se que o segundo e terceiro termos da integral tem a frequência dobrada, sendo que  $2\omega T$  é igual a  $4\pi fT$  e o  $\sin(2n\pi)$  para qualquer  $n$  é igual a zero, logo,  $\sin(2\omega T)$  é zero. Desta forma o terceiro termo se reduz a zero, e o primeiro termo com  $\cos(2\omega T)$  o resultado da integral varia entre -1 e 1 levando o termo a se reduzir a zero também. Sendo assim o resultado fica dependente apenas do primeiro termo da expressão.

$$\begin{aligned}
 U_1 &= \frac{AB}{2T} (2\pi \cos(\theta) - 0) \\
 U_1 &= \frac{AB}{4\pi} 2\pi \cos(\theta) \\
 U_1 &= \frac{AB \cos(\theta)}{2}
 \end{aligned}$$

Semelhantemente, temos no segundo integrador:

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \frac{1}{T} \int_0^T V'_{psd} dt \\
 U_2 &= \frac{1}{T} \left( \int_0^T \frac{AB}{2} \sin(2\omega t + \theta) dt + \int_0^T \frac{AB}{2} \sin\theta dt \right) \\
 U_2 &= \frac{AB}{2T} \left( \int_0^T \sin(\theta) dt + \int_0^T \sin(2\omega t) \cos(\theta) dt + \int_0^T \cos(2\omega t) \sin(\theta) dt \right)
 \end{aligned}$$

Para resolver  $U_2$  temos a mesma situação anterior de  $U_1$ , com o segundo e terceiro termos reduzidos a zero, então fica assim:

$$\begin{aligned}
 U_2 &= \frac{AB}{4\pi} \sin(\theta) 2\pi \\
 U_2 &= \frac{AB \sin\theta}{2}
 \end{aligned}$$

Os últimos blocos do Lock-in realizam operações aritméticas, sendo que o cálculo da Magnitude, também chamado de Amplitude, calculado como a raiz quadrada da soma dos quadrados de  $U_1$  e  $U_2$ .

$$\begin{aligned} \text{Magnitude} &= \sqrt{U_1^2 + U_2^2} \\ \text{Magnitude} &= \sqrt{\left(\frac{AB \cos \theta}{2}\right)^2 + \left(\frac{AB \sin \theta}{2}\right)^2} \\ \text{Magnitude} &= \sqrt{\frac{(AB)^2}{4} (\cos^2 \theta + \sin^2 \theta)} \\ \text{Magnitude} &= \frac{AB}{2} \sqrt{\cos^2 \theta + \sin^2 \theta} \\ \cos^2 \theta + \sin^2 \theta &= 1 \\ \text{Magnitude} &= \frac{AB}{2} \end{aligned}$$

Pelo desenvolvimento percebemos que a magnitude será a média das amplitudes  $A$  e  $B$  dos sinais de referência e de entrada, sendo conhecida a magnitude do sinal de referência é possível identificar a amplitude do sinal de entrada  $V_{in}$ .

O outro bloco aritmético do Lock-in é responsável por extrair o valor da fase do sinal de entrada em relação ao sinal de referência, e a razão entre  $U_2$  e  $U_1$  resulta na tangente de  $\theta$ , seguindo o seguinte desenvolvimento:

$$\begin{aligned} \tan \theta &= \frac{U_2}{U_1} \\ \theta &= \arctan\left(\frac{U_2}{U_1}\right) \end{aligned}$$

Como  $U_2 = \frac{AB \sin \theta}{2}$  e  $U_1 = \frac{AB \cos(\theta)}{2}$  podemos eliminar as constantes  $A$  e  $B$  e obter apenas a razão entre o seno e o cosseno, onde  $\theta$  é a fase do sinal de entrada.

$$\theta = \arctan\left(\frac{\sin \theta}{\cos \theta}\right)$$

### 1.3.2. ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO LOCK-IN

Tradicionalmente os dispositivos Lock-in eram constituídos de elementos da eletrônica analógica, trabalhando diretamente com sinais analógicos, ou seja, utilizando amplificadores operacionais ou transistorizados em configurações de multiplicadores, filtros passa baixa RC entre outros. Em especial, o Lock-in diferencia-se de um circuito amplificador AC pois o sinal de saída é somente a medida da componente sincronizada com a referência ao invés de um sinal simplesmente ampliado em relação ao de entrada, além de que o sinal de saída do Lock-in é um sinal DC proporcional ao sinal de entrada AC, eliminando os efeitos dos ruídos e das interferências (SHANG-KUN et al., 2011; SCOFIELD, 1993)

Mesmo os dispositivos mais recentes trazem algumas desvantagens características da construção dos amplificadores Lock-in analógicos, em especial para sinais de baixas frequências. Sendo, por exemplo, uma onda quadrada como sinal de referência, o ruído aplicado na entrada do sinal poderá produzir sinais parasitas se a frequência dele ou de suas harmônicas forem ímpares da frequência de referência. Para corrigir essa sensibilidade a harmônicas ímpares, existem algumas técnicas que elevam o custo e a complexidade de construção do dispositivo, técnicas como o amplificador sintonizado, um filtro de frequência fixa ou modulações de pulso.

Uma outra desvantagem dos amplificadores Lock-in analógicos que pode-se destacar está relacionada com a largura de banda que é determinada pela constante de tempo do filtro passa baixa, pois possuem longos tempos de recuperação transitória resultando dos filtros exponenciais, como em cascata e filtros RC dissociados, que requerem cerca de 10 períodos para alcançar 99,9% do valor final, tal valor pode ser muito longo para sinais com frequências baixas causando baixo desempenho desses dispositivos para analisar sinais de baixa frequência (SANTOS, 2014; PROBST; COLLET, 1984).

Desde que Cova et al propôs o primeiro Lock-in digital na *Review of Scientific Instruments* em 1979, ainda que em um formato simplificado, e idealmente adequado para alta precisão em medida de baixa frequência, trouxe para o meio acadêmico uma alternativa aos amplificadores Lock-in analógicos e uma forma de superar algumas das desvantagens deles utilizando técnicas de desenvolvimento baseadas em dispositivos eletrônicos discretos, computadores convencionais, microprocessadores de uso geral, placas DSP ou FPGA (COVA et al., 1979). O amplificador Lock-in digital

tem sido utilizado em instrumentação para aplicações como magnetômetro, espectroscopia óptica, espectroscopia de impedância elétrica e entre outras.

A principal diferença entre o Lock-in analógico e o digital está no seu coração, ou seja, na etapa do PSD, onde no analógico, o sinal e a referência são sinais de tensão analógicos, e são multiplicados por um multiplicador analógico, e então filtrado por uma ou mais etapas de um circuito RC. No PSD digital o sinal de entrada é convertido em um sinal numérico digital por um ADC (conversor analógico-digital) e multiplicado por uma onda de referência que, normalmente, é gerada e calculada internamente pelo dispositivo digital, por exemplo, uma onda senoidal. Como o desempenho do dispositivo Lock-in depende diretamente da etapa PSD, o Lock-in digital apresenta vantagens nesta etapa quando comparado ao analógico, além de ter uma implantação mais facilitada. Pode-se afirmar que o Lock-in digital supera o analógico, desde que os recursos de computação utilizados para a composição do Lock-in digital tenham sido apropriadamente dimensionados. Comparando o Lock-in digital com o analógico tem-se como principais vantagens a ausência de *offset*, logo uma melhor estabilidade na saída; limitada reserva dinâmica, causada pela conversão analógica-digital que impede que sejam introduzidos mais erros no sinal; demodulação ideal dos componentes fase e quadratura; alta rejeição às harmônicas e um alto custo-benefício com baixo custo/desempenho.

O Lock-in baseado em FPGA possibilita uma grande precisão numérica e um tempo curto de processamento (SONNAILLON; BONETTO, 2005; RYDH, 2010; WANG et al., 2011). Devido ao avanço das tecnologias de microprocessadores, estes dispositivos possuem um alto poder computacional e, quando associados com conversores A/D com taxas de aquisição de pelo menos o dobro das frequências utilizadas para referência pelo teorema de Nyquist, permitem a construção de Lock-in digital com baixo custo, baixo consumo de energia e facilidade de integração com redes de sensores e sistemas de comunicação baseados em tecnologia IoT.

## 1.5. TECNOLOGIAS IOT

O uso de plataformas embarcadas para desenvolvimento de aplicações de monitoramento em tempo real à distância vem se tornando cada vez mais comuns em meio as necessidades de informações e interações com dispositivos eletrônicos do cotidiano, deixando de ser itens de comodidade para serem necessidade da sociedade moderna (GUBII; et al., 2013), seja visando aplicações em cidades

inteligentes e monitoramento de climas, quanto supervisão de processos industriais, monitoramento ambiental e obtenção de dados para otimização de produções.

Devido às diversas aplicações, muitas plataformas são utilizadas, sendo escolhidas em virtude dos recursos de cada uma e o custo, este que normalmente impacta diretamente na escolha da plataforma. Algumas plataformas que se pode destacar são: NI MyRIO da National Instruments, com módulo processador e *real-time* (BRAGA; et al., 2017), RaspBerry Pi, que é um microcomputador portátil (SOUZA; BRAGA, 2019), Placas de Desenvolvimento Arduino, tais como o UNO R3, DUE, MEGA e NANO (KUMAR, 2016; FERREIRA; CANEDO; SOUZA, 2013), STM32, kit de desenvolvimento nodeMCU baseado em ESP8266 e/ou ESP32 (THOMAS; et al., 2016). Tais plataformas possuem um núcleo de processamento, módulos de comunicação de protocolos (como i2c, SPI, UART etc.) e entradas e saídas digitais e analógicas, para que requisitem informações dos sensores de monitoramento dos parâmetros alvos e acionam eventuais atuadores e saídas de alerta que os sistemas possam requerer.

Algumas dessas plataformas possuem barramentos para conexão com a rede de internet por meio de cabo integradas, tais como o Ni MyRIO e o RaspBerry PI e outras possuem comunicação *wireless* integrada tais como os kits de desenvolvimento baseados em STM32 com rádio LoRaWAN integrado e os kits de desenvolvimento NodeMCU com ESP8266 e ESP32 com módulo WiFi integrado. Esses dispositivos vêm ganhando maior número de aplicações pois com o módulo processador e o módulo de comunicação da rede integrados em uma mesma placa oferecem uma relação custo-benefício melhor.

A plataforma NodeMCU baseada nos controladores ESP8266 e ESP32 chamam atenção por seu custo muito abaixo das demais e por possuir módulo Wifi integrado. Os chips ESP32, em especial, possuem também *bluetooth 4.2* integrado. O chip ESP8266 possui um processador RISC de 32bits Tensilica L106, com um clock nativo de 80 MHz; com 64KB de memória RAM de instruções, 96 KB de memória de dados; Módulo IEEE 802.11 b/g/n Wi-Fi. A tabela abaixo compara algumas especificações dos módulos ESP8266, ESP32, Arduino Due e Arduino UNO R3, por ser uma placa amplamente conhecida.

	<b>ESP32</b>	<b>ESP8266</b>	<b>Due</b>	<b>UNO R3</b>
<b>Núcleos</b>	2	1	1	1
<b>Arquitetura</b>	32 bits	32 bits	32 bits	8 bits
<b>Clock</b>	160MHz	80 MHz	84 MHz	16MHz
<b>WiFi</b>	Sim	Sim	Não	Não
<b>Bluetooth</b>	Sim	Não	Não	Não
<b>RAM</b>	512 KB	160 KB	512 KB	2 KB
<b>GPIO</b>	36	17	54	14
<b>Interfaces</b>	SPI/ I2C/ UART/ I2S/ CAN	SPI/ I2C/ UART/ I2S	UART/ SPI/ TWI/ CAN/ I2C	SPI/ I2C/ UART
<b>ADC</b>	18	1	12	6
<b>DAC</b>	2	0	2	0
<b>Amostragem</b>	2 Msps	200 Ksps	1 Msps	9ksps

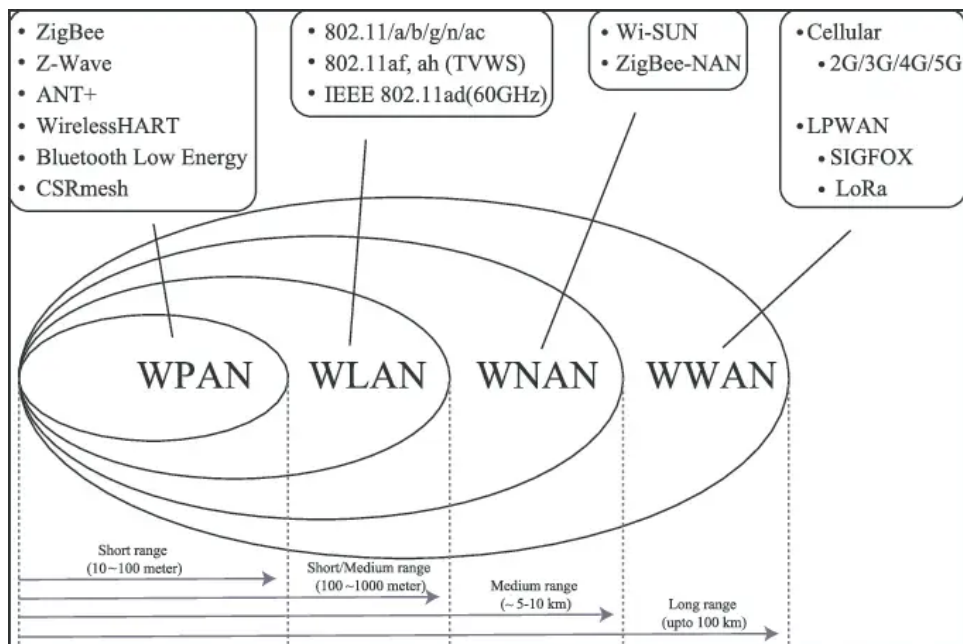
As placas fabricadas pela Espressif, por terem módulo de comunicação sem fio (Wifi e bluetooth) integradas, acabam tendo maior aceitação e um grande uso em aplicações devido à essa característica e ao seu poder computacional. A transmissão de dados via Wifi possui bons frutos, pois é uma rede de rápida implementação e se conecta à rede Internet com facilidade por pontos de acesso, seja por gateway de redes móveis 3G ou ainda por pontos de conexões cabeadas (SOUZA; BRAGA, 2019). Redes de comunicação LoRaWAN (LPWAN) permitem atingir longas distâncias em área aberta através de sinais modulados de rádio frequência. Este protocolo de comunicação utiliza uma topologia estrela com pontos centrais de acesso aos quais os nós são direcionados e ao ponto de acesso central é conectado uma configuração de *gateway* para interfacear a rede LPWAN com a internet ou outras redes.

Existem tantas tecnologias sem fio agora, e há uma possibilidade de mais no futuro, conforme a tecnologia avança e as necessidades dos humanos evoluem. Alguns exemplos são: a transmissão de rádio e televisão, O sistema de telefonia móvel (Comunicação Celular), O sistema de telefones sem fio, Sistema de Posicionamento Global (GPS Paging), O radar, A comunicação infravermelha, A comunicação por satélite, WLAN (Wi-fi), A comunicação de microondas, A Identificação de Radiofrequência (RFID), The Zigbee, O Bluetooth.

Para a natureza deste trabalho, redes de longo alcance se mostram mais

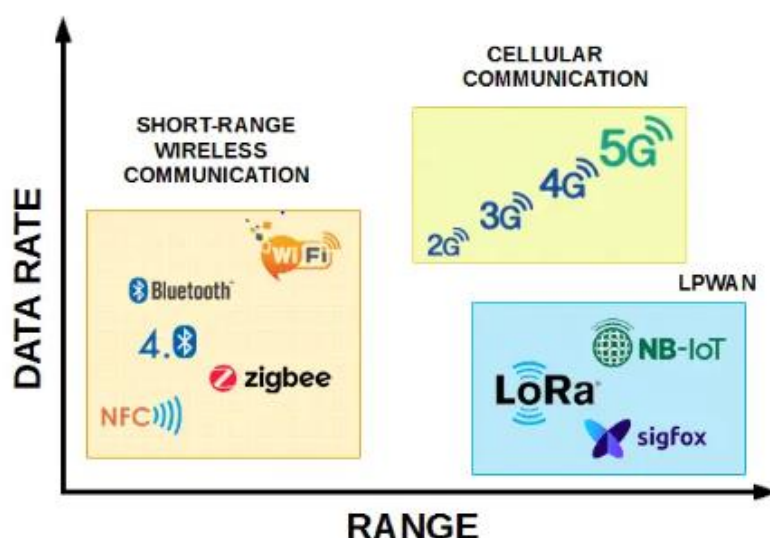
adequadas em virtude na distância das instalações, conforme a Figura 8, redes WWAN são mais adequadas para essa aplicação.

**Figura 8 Comparação de alcance entre tecnologias de comunicação sem fio.**



Concentrando em redes de longo alcance, tecnologias como LoRa NB-IoT e sigfox se caracterizam por longo alcance e baixa taxa de transmissão de dados, quando comparadas à outras tecnologias, conforme vemos na Figura 9, e são categorizadas como LPWAN (*Low-power wide-area network*), redes de baixo consumo de energia.

**Figura 9 Comparação entre tecnologias - Alcance (Range) x Transmissão de Dados (data rate).** Disponível em: <https://medium.com/@stalinskyk/comparison-of-lorawan-xbee-technology-modules-for-geophone-and-or-seismograph-data-f59162fcbef4>.



As tecnologias de transmissão de dados para Internet das Coisas (IoT) evoluíram consideravelmente nos últimos anos, oferecendo diferentes opções para



atender às diversas necessidades de aplicações IoT. Aqui estão comparações entre algumas das tecnologias mais populares, incluindo LoRaWAN, SigFox e NB-IoT:

a) **LoRaWAN (Long Range Wide Area Network)**

- **Alcance:** LoRaWAN oferece um alcance excepcional, permitindo a comunicação a longas distâncias, até vários quilômetros em ambientes urbanos e até 10-15 km em áreas rurais.
- **Consumo de Energia:** É altamente eficiente em termos de consumo de energia, tornando-o adequado para dispositivos com baterias de longa duração.
- **Largura de Banda:** Tem uma largura de banda limitada, adequada para transmissões de baixa taxa de dados.
- **Custo de Implantação:** Geralmente, a infraestrutura LoRaWAN é mais barata para implantar, pois pode ser implementada em redes públicas ou privadas.

b) **SigFox**

- **Alcance:** Oferece um alcance considerável, semelhante ao LoRaWAN, com capacidade de penetração em áreas remotas.
- **Consumo de Energia:** É eficiente em termos de energia e adequado para dispositivos de baixo consumo.
- **Largura de Banda:** Possui uma largura de banda extremamente estreita, adequada para pequenas mensagens.
- **Custo de Implantação:** A infraestrutura SigFox é geralmente gerenciada por terceiros e pode ter custos associados ao uso da rede.

c) **NB-IoT (Narrowband IoT)**

- **Alcance:** Tem um alcance moderado, inferior ao LoRaWAN e SigFox, mas ainda adequado para muitas aplicações IoT urbanas.
- **Consumo de Energia:** É eficiente em termos de energia e pode ser usado em dispositivos de baixo consumo.
- **Largura de Banda:** Oferece uma largura de banda mais ampla em comparação com LoRaWAN e SigFox, permitindo taxas de dados um pouco mais altas.

- **Custo de Implantação:** Normalmente, é integrado às redes móveis existentes, tornando a infraestrutura mais acessível.

#### d) **LTE-M (LTE-Machine)**

- **Alcance:** Tem um alcance moderado e é projetado para comunicação M2M (máquina a máquina) em redes LTE existentes.
- **Consumo de Energia:** É eficiente em termos de energia, mas geralmente consome mais energia do que LoRaWAN, SigFox ou NB-IoT.
- **Largura de Banda:** Oferece uma largura de banda significativamente maior, permitindo taxas de dados mais altas em comparação com NB-IoT.
- **Custo de Implantação:** Integra-se às redes LTE existentes, aproveitando a infraestrutura já existente.

Para a aplicação deste trabalho, se faz necessário longas distâncias, um volume baixo de informações trafegadas e, idealmente, redução do consumo de energia e, também, do custo do equipamento. Dessa forma, a principal tecnologia escolhida de wireless foi LoRaWAN.

Dentro desse contexto, o presente trabalho visa, integrar tecnologias de monitoramento óptico com sensores multiespectrais desenvolvidas no grupo de pesquisa com comunicação em tempo real para acompanhamento da qualidade do ambiente aquático voltado à piscicultura, de forma a gerar ferramentas de geração de dados para estudos futuros e tomada de decisão com objetivo de uma produção sustentável, melhorando a qualidade da água, reduzindo custos de produção e maximizando a capacidade produtiva do meio.

## 2. OBJETIVOS

O presente trabalho apresenta um sistema de monitoramento de parâmetros ambientais importantes para o manejo de peixes baseado em detecção óptica *in loco* e redes IoT para processamento de sinais e interligação de sensores, obtendo dados da concentração de oxigênio dissolvido (OD), turbidez, matéria orgânica dissolvida (CDOM) e temperatura em multiprofundidades de ambientes aquáticos, visando antecipação de tomadas de decisões por produtores na prática da piscicultura.

Foram utilizados sensores multiespectrais ópticos com 11 bandas e LEDs para excitação luminosa das amostras de água no interior da sonda. As fontes luminosas foram conduzidas por fibras ópticas até a sonda que fica imersa, sendo que a resposta óptica do sistema foi capturada por uma fibra óptica também e em especial uma delas foi funcionalizada para detecção de oxigênio dissolvido com a deposição de um filme fino de moléculas de PtOEP imobilizadas em PVC como a parte sensível do sensor. Para medição da temperatura em diversas profundidades do meio de monitoramento foi projetada e fabricada uma sonda multiprofundidades utilizando sensores de temperatura semicondutores com comunicação digital. As sondas integram o sistema por meio de barramentos de comunicação com o hardware embarcado com aquisição, processamento e transmissão de sinais, baseado em microprocessadores 32bits de baixo consumo, conectados à rede de sensores para monitoramento dos dados em nuvem utilizando tecnologia IoT, em especial WiFi para conexões de internet e LoRaWAN para conexões distantes.

## 2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para viabilizar os objetivos deste trabalho, foi desenvolvido um sistema experimental com:

- Elaboração e fabricação de circuitos para controle e endereçamento de sensores com comunicação digital, utilizando componentes discretos para que o controlador possa gerenciar o acoplamento de cada sensor de temperatura na rede afim de permitir a expansão facilitada do tamanho da sonda, baseado em componentes discretos e plataformas de desenvolvimento com microcontroladores;
- Desenvolvimento de uma rede de sensores com barramentos de comunicação em diferentes protocolos, os quais, i2c e OneWire, para conectar o controlador aos diferentes sensores da sonda multi-parâmetros;
- Desenvolvimento de uma sonda de temperatura em multiprofundidades para leitura da temperatura em diferentes profundidades de um rio ou tanque-rede de criação de peixes;
- Desenvolvimento de método de calibração da sonda de temperatura;
- Desenvolvimento de sistema de aquisição e processamento de sinais multiespectrais;
- Elaboração de método de interligação entre sondas multiparâmetros para redes de monitoramento com tecnologia IoT com dados em nuvem utilizando a rede 3G para acessar a internet com apoio de redes WiFi e LoRaWAN.

## 2.2. JUSTIFICATIVAS

Um indicador importante da qualidade da água é a quantidade de oxigênio dissolvido (OD), que permite determinar a quantidade de peixes que um determinado ambiente pode suportar sustentavelmente sem afetar a produção, sendo o OD, também, um parâmetro para determinar a presença de matéria orgânica na água e possíveis agentes poluidores.

A clorofila-a (chl-a) tem papel importante no ecossistema aquático, pois indica a presença de organismo fotossintetizante que em quantidades elevadas diminuem a capacidade do ambiente de suportar a criação de peixes, pois estes micro-organismos também concorrerem com os peixes por nutrientes e oxigênio. A chl-a tem forte relação com a temperatura, pois com a elevação da mesma o crescimento do fitoplâncton acelera, ocasionando o fenômeno *bloom*, que é o crescimento acelerado de micro-organismos na presença de matéria orgânica disponível e temperatura elevada. Todos estes fatores contribuem para a redução da capacidade produtiva do ambiente em relação à piscicultura.

Técnicas de manejo vêm sendo empregadas a fim de otimizar o consumo de ração para maximizar a produtividade, porém o acúmulo e a falta de monitoramento provocam a redução da capacidade produtiva do meio, com eutrofização do ambiente e tornando o campo improdutivo com o passar dos ciclos de criação. Neste contexto, o desenvolvimento de um sistema de monitoramento de parâmetros ambientais no âmbito da piscicultura torna-se uma forma atrativa de otimizar os manejos de peixes maximizando a capacidade produtiva do ambiente, mantendo a sustentabilidade do ecossistema ao longo do tempo com monitoramento remoto via redes IoT, além de reduzir os impactos ambientais das atividades humanas no contexto da criação de peixes.

### 3. METODOS E PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os objetivos do presente projeto foram atingidos através do desenvolvimento dos sistemas de monitoramento de forma sistemática. Primeiramente foram idealizados e projetados os sistemas em função dos parâmetros a serem monitorados (temperatura, concentração de contaminantes), seguido do levantamento das curvas de calibração e finalmente a montagem final dos protótipos dos sistemas de monitoramento. Nesta seção está descrito detalhadamente o projeto e desenvolvimento dos sistemas propostos neste trabalho.

#### 3.1. PROJETO DE SONDA DE TEMPERATURA EM MULTI-PROFUNDIDADES

Considerando a necessidade de medir a temperatura da água em diferentes pontos de profundidade para monitorar a temperatura ao longo do tempo e estudar as dinâmicas do ambiente aquático como forma de prevenção da eutrofização das águas utilizadas para criação de peixes, foi proposto o projeto de sonda de temperatura em multi-profundidades. Os teores de chl-a, oxigênio dissolvido e pH variam com a temperatura e, também dependem da pressão atmosférica (BOYD, TUCKER, 1998 e Feide, et. al., 2015).

Optou-se pela escolha do sensor de temperatura DS18B20 pela precisão, facilidade de integração em rede e baixo custo (menos de U\$ 2,00). Ele possui uma faixa de leitura entre  $-10^{\circ}\text{C}$  e  $85^{\circ}\text{C}$  com  $0,5^{\circ}\text{C}$  de precisão e comunicação digital através do protocolo OneWire que, como o próprio nome indica, utiliza apenas uma conexão de dados para a comunicação. Através deste protocolo é possível comunicar com o sensor utilizando apenas dois fios pela configuração parasita, onde a tensão de alimentação é interligada ao fio de dados através de um resistor de  $4,7\text{ k}\Omega$  em pull-up, como mostrado na Figura 10.

Porém, em testes preliminares, a configuração parasita se mostrou instável para ligação de vários sensores em rede. Portanto, utilizamos a configuração padrão do fabricante com 3 fios, sendo eles a alimentação (Vcc), a referência (GND) e o condutor de dados (DATA), conforme ilustra a Figura 11. Esta configuração se mostrou estável para ligação de vários sensores no barramento de comunicação.

Figura 10 - Configuração de Ligação Parasita do sensor DS18B20. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 10/09/2019

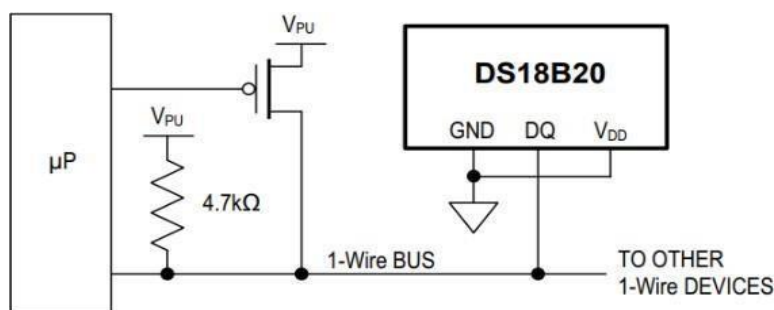
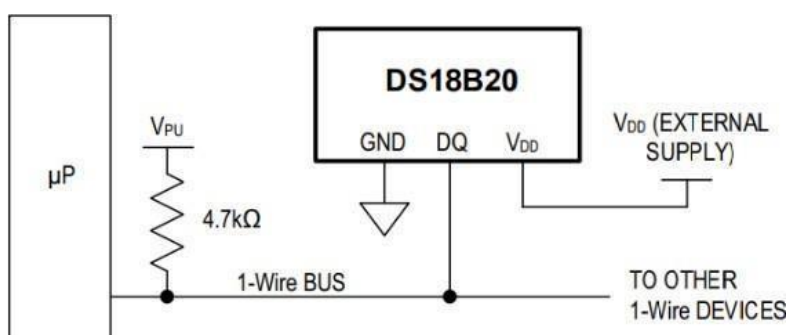


Figura 11 - Configuração de Ligação do sensor DS18B20 com alimentação externa. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em 10/09/2019.

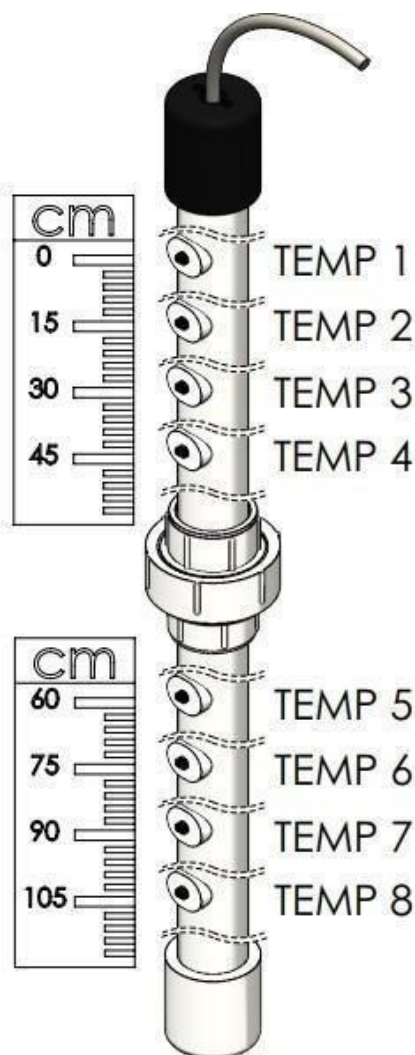


A sonda possui um arranjo modular para fácil expansão da mesma conforme a necessidade da aplicação, ou seja, conforme a profundidade que serão medidas as temperaturas, sendo cada módulo da sonda composto por 4 sensores espaçados em 15 cm entre si e com conexão de rosca entre os módulos de expansão da sonda, conforme ilustrado na Figura 12. A distância de 15 cm entre os sensores foi adotada com o propósito de identificar a distância ideal entre os sensores para reprodução futura do sistema, com base no que reporta a literatura a respeito das necessidades de monitoramento da temperatura para a prática da piscicultura.

Para que os sensores se conectem corretamente e sejam identificados, foi desenvolvido um circuito utilizando flip flops e chaves eletrônicas na configuração de *shift register*, para que o controlador realize uma varredura na rede, se comunicando com cada sensor individualmente e obtendo o endereço único deles e indexando a posição referente de cada sensor, pois os sensores DS18B20 possuem um endereço ID individualmente único que vem gravado do fabricante de forma que não se altera e pelo grande número de combinações, dificilmente irá se repetir na rede. Este circuito, denominado de circuito de autoendereço modular, tem como função principal identificar cada um dos sensores dos módulos que formam a sonda

listando-os conforme a distância de cada um até a superfície, ou seja, o sensor mais próximo à superfície está associado ao índice 1, o próximo ao índice 2 e assim sucessivamente até associar todos os sensores conectados no barramento da sonda ao seu respectivo índice de posição.

Figura 12 - Ilustração dos módulos da sonda de temperatura (DS18B20) em diferentes profundidades com os sensores aproximados.

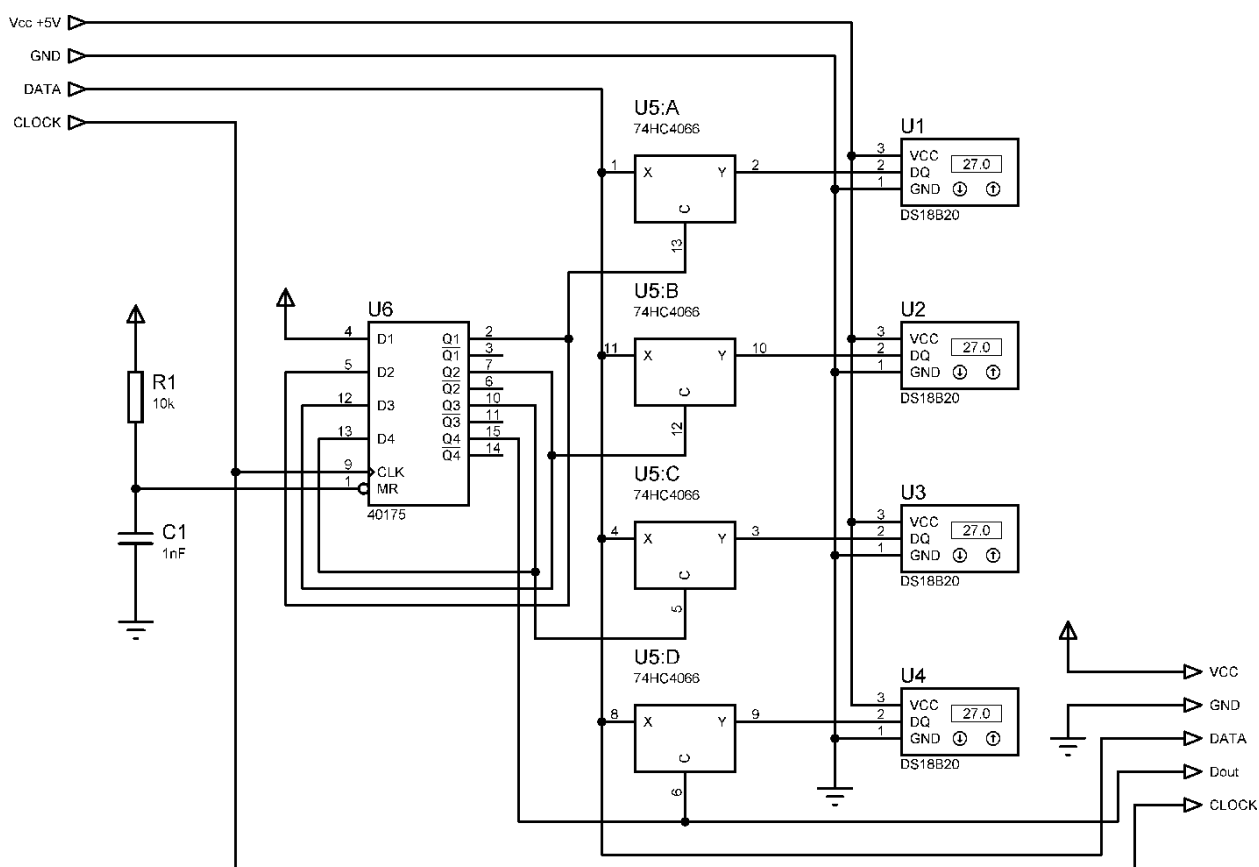


O circuito de auto endereçamento modular é composto, essencialmente, por chaves eletrônicas e células binárias de memória, utilizando o 74HC4066, que são 4 chaves analógicas bilaterais encapsuladas em um único CI e o 40175 que é um CI com 4 Flip-Flops tipo D encapsulados. As células de memória feitas com os Flip-Flops do tipo D estão arranjadas a fim de formar um circuito *shift register* que aciona a próxima célula de memória a cada pulso de CLOCK, uma vez que o pino 4 de U6 está conectado à Vcc (+5V), conforme o circuito da Figura 13. A cada pulso de CLOCK as células de memória passam do nível lógico baixo para o nível lógico alto acionando suas respectivas chaves analógicas, conectando dessa forma um sensor DS18B20 à



rede OneWire um de cada vez.

Figura 13 - Diagrama do Circuito de Auto Endereçamento Modular.

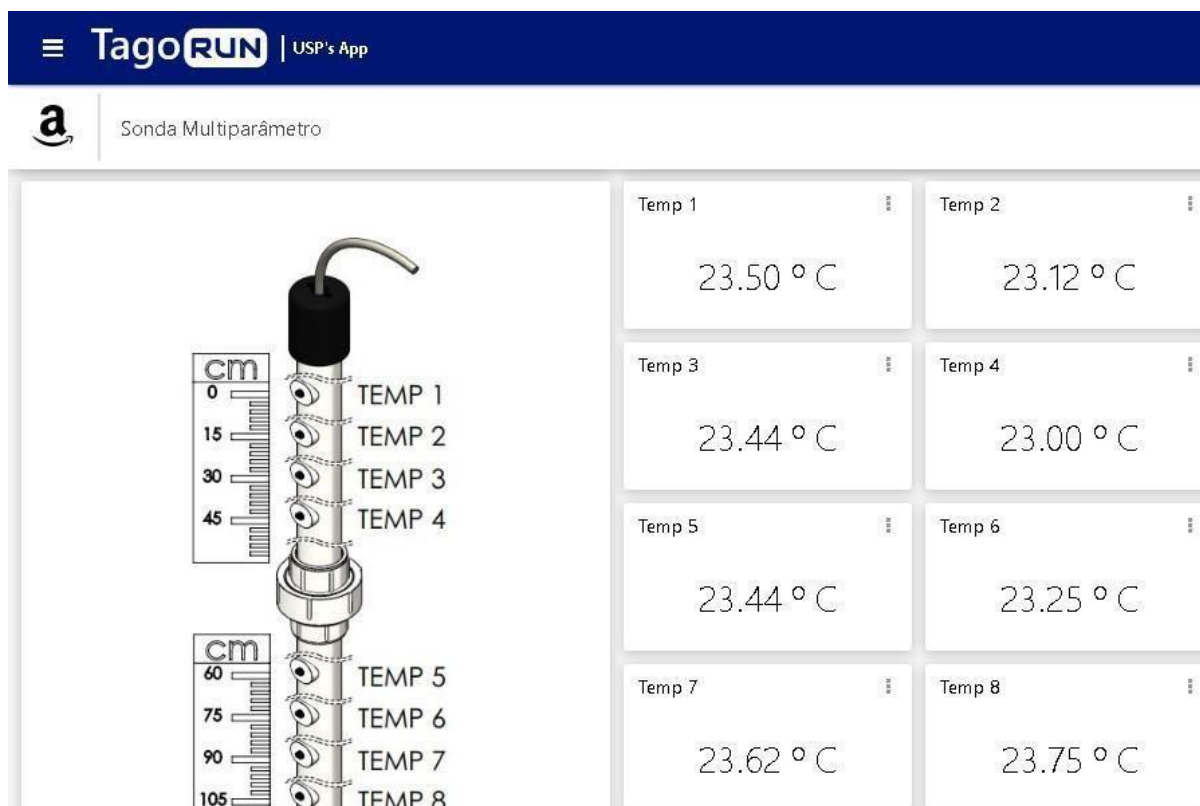


Através desse circuito é possível identificar o endereço ID de cada novo sensor conectado à rede, permitindo que a sonda aumente a quantidade de módulos interligados sem a necessidade de utilizar barramentos paralelos para a comunicação de cada sensor com o módulo controlador conforme retratado na literatura (SHEN; et. al, 2006; NI; et. al., 2012; WANG; LI, 2010).

Como controlador foi utilizada a plataforma de desenvolvimento NodeMCU baseada no ESP32 com módulo Wifi integrado. Este foi programado com um algoritmo de reconhecimento dos endereços e posicionamento dos sensores na sonda, que é executado sempre que o controlador é ligado. O código do programa é composto pela rotina de conexão com a internet através de Wifi, pelo algoritmo de reconhecimento de endereços e posicionamento, por uma rotina de leitura dos sensores da sonda em um intervalo de tempo definido e por uma rotina de envio dos dados para a nuvem, através do método de POST *Request* do protocolo HTTP e com uso do protocolo JSON para transferência de dados. Como interface de visualização dos dados (*front-end*) foi utilizada a plataforma Tago.io em sua versão gratuita, onde recebe os dados da sonda de temperatura e exibe as informações no

workspace da interface hospedada no endereço <https://5db1c07e467d78001b9d226b.run.tago.io/>. A Figura 14 mostra a interface utilizada para testar a leitura e envio de dados para nuvem, podendo ser acessado por computador ou por dispositivos móveis.

Figura 14 - Interface do usuário na plataforma Tago.io para exibição dos dados de leitura da sonda de temperatura em diferentes profundidades em tempo real.



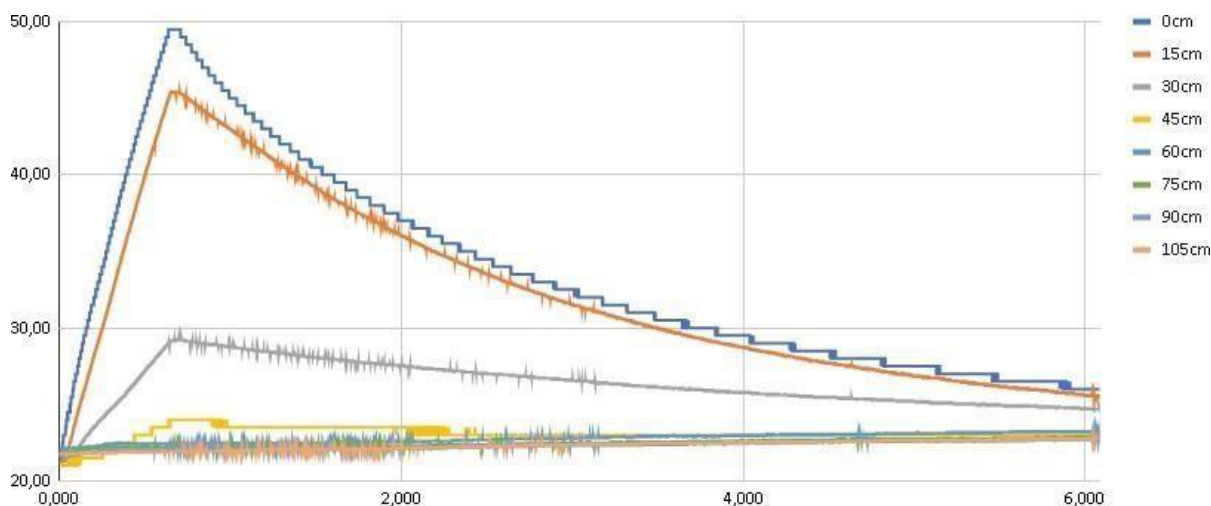
O ensaio de validação das leituras dos sensores foi realizado em um tubo de ensaio aquecido com resistência, com duração de 6,08 horas entre aquecimento e desaquecimento do ambiente de medição. O algoritmo foi preparado para realizar diversas leituras e transmitir a média das leituras, para este ensaio foi configurado média de 1 leitura, ou seja, todas as medidas seriam publicadas, conforme Tabela 1. Dessa forma podemos mensurar a quantidade de leituras em erro durante todo o período, o valor médio do erro foi de 2,25% das leituras realizadas, não gerando impacto significativo na operação in situ do equipamento, pois o parâmetro de média é configurado de 10 a 20 leituras para transmitir a média.

Tabela 1 - Quantidade de Leituras e porcentagem de leituras com erro no período de análise.

Sensor	0cm	15cm	30cm	45cm	60cm	75cm	90cm	105cm
Qtde erros:	612	567	665	457	282	237	324	796
Qtde Leituras:	21911	21911	21911	21911	21911	21911	21911	21911
% erros:	2,79%	2,59%	3,04%	2,09%	1,29%	1,08%	1,48%	3,63%

O processo de aquecimento foi desligado com 40 minutos de resistência ligada, atingindo a temperatura de 49,5°C no ponto mais próximo da superfície da água. Para o tempo de "resfriamento", a água ficou em repouso por aproximadamente 5 horas e 20 minutos, atingindo a temperatura de 26°C na superfície do líquido. Os valores foram plotados no gráfico da Figura 15.

**Figura 15 - Temperatura em multiprofundidades (em °C) x Tempo (em horas) - Duração Total de 6,08h**



Assim como esperado, o calor das regiões mais próximas à superfície muito pouco se transferiu para as regiões mais profundas do tubo de ensaio, se concentrando próximo da superfície, indicando um gradiente de temperatura na coluna de 105cm de água utilizada neste ensaio. Os sensores foram calibrados com auxílio do calibrador Presys ISOCAL MCS-12 confirmando a precisão de 0,5°C da especificação do componente sensor.

**Figura 16 - Tubo de ensaio da sonda de temperatura em multiprofundidades e protótipo do equipamento MPMS.**



### 3.2. DESENVOLVIMENTO DE FIRMWARE EM PLATAFORMA EMBARCADA PARA APLICAÇÃO EM PSICULTURA

Para o desenvolvimento do sistema de detecção de parâmetros ambientais tais como turbidez, chl-a, CDOM etc, tem-se utilizado circuitos eletrônicos embarcados e sensores multiespectrais, cujo resultados preliminares obtidos têm mostrado desempenho equivalente a instrumentos analíticos de laboratório através da aquisição e processamento de sinais. O uso de um dispositivo reprogramável digitalmente confere ao sistema condições de alterações e adição de outras funcionalidades apenas pela substituição do firmware, sem muitas, ou nenhuma, mudanças no projeto de hardware. Para isto foi utilizado a plataforma ESP32 WROOM 32U baseada no módulo controlador ESP32 fabricado pela Espressif com tamanho, relativamente, pequeno de 5,6cm x 3,0cm (Figura 17).

Figura 17 - PLACA ESP32 WROOM 32U WIFI BLUETOOTH COM ANTENA EXTERNA

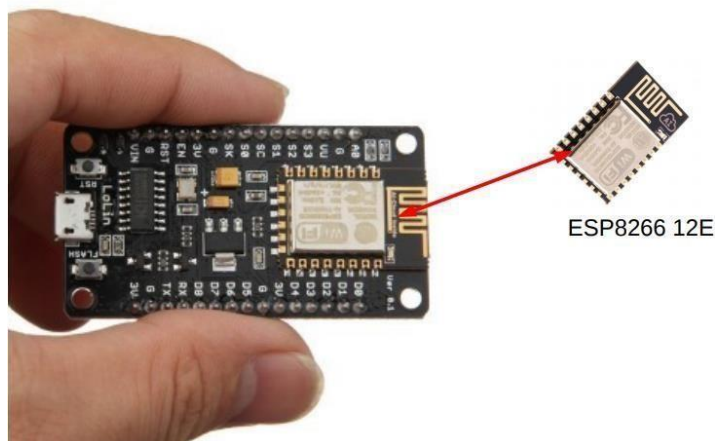
. Fonte: Espressif.



O componente principal da placa é o chip ESP-12E (Figura 18) que integra o módulo ESP32 com um processador de 32 bits Tensilica L106, processando a uma frequência de 80MHz. Este módulo possui um adc de 10bits de resolução que tem 200ksps de taxa de amostragem na condição de *read fast* com o *clock divisor* em 8, seu valor mínimo, e com a conexão Wifi desligada. A placa ainda possui interfaces de hardware UART, SDIO, SPI, I2C e I2S além do módulo WiFi integrado de 2.4 GHz (802.11 b/ g/ n). O controlador foi programado no ambiente de desenvolvimento

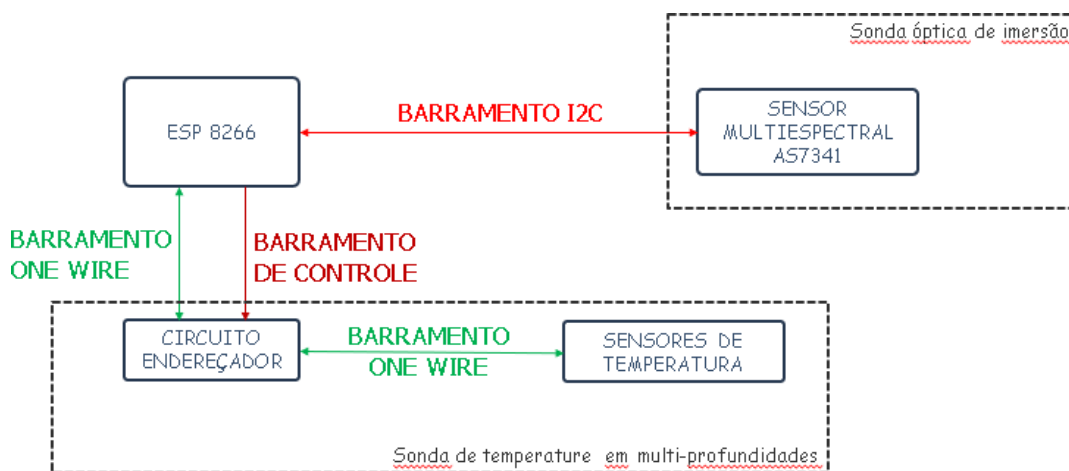
Arduino IDE 1.8.12 utilizando a SDK dos módulos ESP para gravar o firmware na placa pela porta USB, o código-fonte da aplicação foi desenvolvido em linguagem C++.

Figura 18 – Ampliação do módulo controlador



Uma interface local criada a partir do display NEXTION NX3224T024 de 2.4 polegadas *touchscreen* permite a criação de telas de interface pelo software Nextion Editor. A partir desse software foi configurada toda a interface homem-máquina (IHM) local do equipamento. Os arquivos da IHM ficam armazenados em um cartão de memória inserido no circuito controlador da tela. Desta forma, todo o processamento gráfico do visual da IHM fica no próprio display, permitindo otimizar o sistema embarcado, que fica responsável pela aquisição e processamento dos sinais dos sensores multiespectrais e o controle dos barramentos de comunicação. Um diagrama de blocos da comunicação entre os sensores é apresentado na Figura 19. A ligação entre o display da IHM e o controlador é feita por um barramento serial TTL que transfere somente os dados das variáveis visíveis em tela.

Figura 19 - diagrama de blocos da comunicação entre os sensores



O firmware é dividido em dois grupos de rotinas, as rotinas de inicialização e as rotinas de operação contínua. Dentre as de inicialização estão a rotina que controla o circuito de autoendereço modular, indexando cada sensor de temperatura da sonda conforme a sua distância em relação à superfície do ambiente. Este endereçamento possui indicação visual através de LEDs instalados na superfície da sonda. Dentre as rotinas de inicialização estão, também, a inicialização do barramento i2c de comunicação com os sensores multiespectrais e a rotina de conexão com a rede WiFi.

Dentre as rotinas de operação contínua gravadas no firmware do dispositivo estão às leituras dos sensores de temperatura em um intervalo de tempo pré-configurado ocorrendo sequencialmente, conforme indexado na inicialização do sistema; a rotina de aquisição e processamento dos dados dos sensores multiespectrais conectados ao controlador por meio de um barramento de comunicação i2c, conferindo ao sistema maior imunidade a ruídos, devido a comunicação digital e a integração da etapa de amplificação da corrente gerada nos fotodiodos em um único chip; e a rotina de transmissão dos dados através do método POST HTTP com uso do protocolo JSON para transferência de dados *web* comunicando diretamente com o servidor em nuvem disponibilizando os dados em tempo real (Figura 20). Para otimização do sistema, em relação ao consumo de dados e bateria, o tempo de intervalo entre os envios das informações é configurável.

**Figura 20 - Comunicação com servidor via wifi e internet**



Todo o sistema de controle está projetado para ser abrigado dentro de um gabinete com proteção IP65 fabricado em alumínio, onde se conectam as sondas de imersão para leituras, conforme ilustra a Figura 21, o módulo de controle sendo

formado internamente, pelo display IHM, o controlador com WiFi integrado, o módulo controlador de corrente dos LEDs de excitação, a placa do sensor multiespectral e uma bateria para alimentação do sistema.

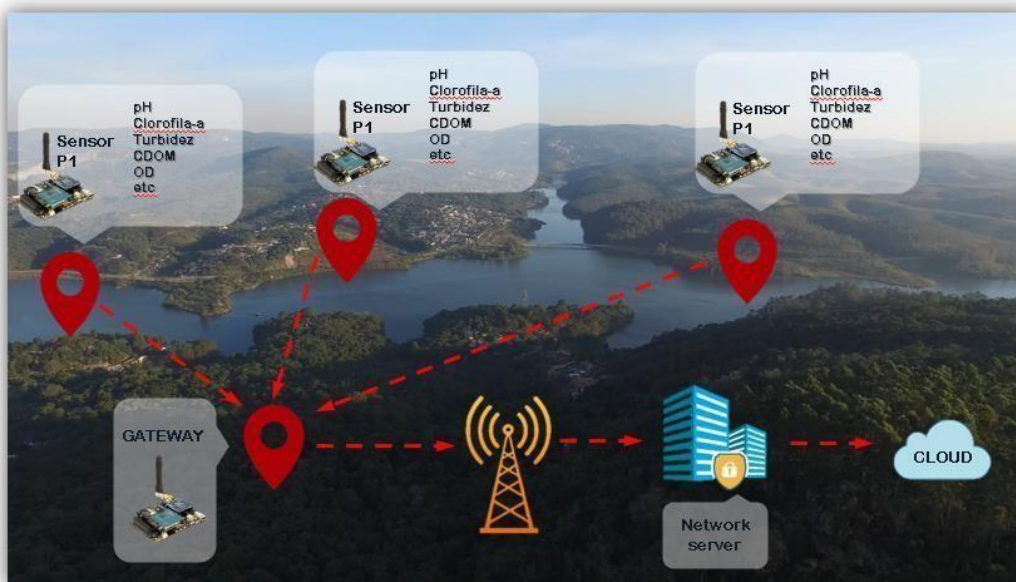
Figura 21 - Sonda de imersão com sensores multiespectrais



O sistema foi projetado para monitoramento dos parâmetros ambientais visando a aplicação na piscicultura, construindo uma base de dados que pode contribuir para estudos da dinâmica de propagação de poluentes em rios, lagos e mares, identificando fontes poluidoras, além de análises de tendências de aumento ou redução de parâmetros ambientais. A topologia escolhida permite a implementação de sondas em diferentes regiões com acesso de conexão à internet possibilitando o monitoramento simultâneo de várias regiões. A interface local permite a visualização dos parâmetros *in loco* da sonda instalada e o *front-end* na plataforma em nuvem permite a visualização online dos parâmetros de todas as sondas conectadas na rede, em tempo real, conforme a Figura 22.



Figura 22 - Topologia da Rede de sensores e comunicação com o servidor em nuvem



Represa Paulo de Paiva Castro - Franco da Rocha - SP

Na rede de comunicação sem fio, cada sonda instalada em um ponto é denominada de nó ou *end node*, e cada nó da rede é conectado a um *gateway* que tem como função interligar a comunicação dos nós ao servidor em nuvem. O sistema foi idealizado para utilizar WiFi em pontos de fácil acesso a um ponto de Internet que seja conectado a um *gateway*, como por exemplo, os roteadores de internet dentro de residências. Em nosso sistema, o roteador é o *gateway* da rede comunicando os nós (computadores, notebooks e celulares) da rede sem fio à internet cabeada. O sistema também é facilmente adaptável para ambientes com dificuldade de acesso à internet, inserindo-se ao sistema um módulo de comunicação LoRaWAN que alcança longas distâncias em área aberta de forma que facilita a instalação de sondas de monitoramento em pontos com dificuldade de acesso à internet.

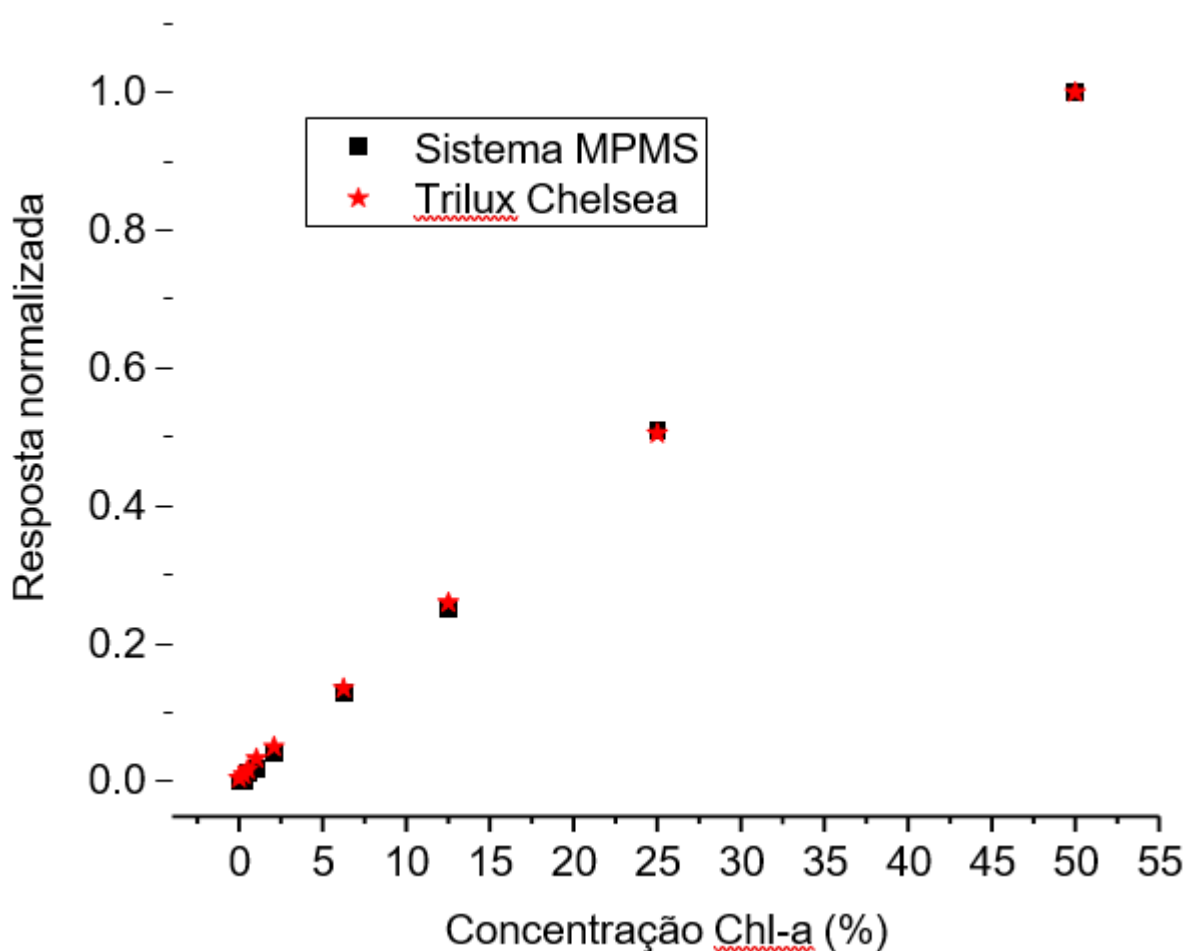
Os valores de leitura de chl-a foram calibrados comparando com métodos convencionais por espectrometria, conforme método da Cetesb. Todos os sinais dos sensores multiespectrais para medidas de clorofila A são condicionados para unidades de engenharia (%) através de uma função obtida pelo método de aproximações lineares. A Figura 23 apresenta conceitualmente o módulo de controle conectado às duas sondas de imersão para detecção de multiparâmetros.

Figura 23 - Ilustração das sondas de imersão e o módulo de controle (a). Modelo do módulo de controle em alumínio com suporte à 2 sondas ópticas de imersão (b).



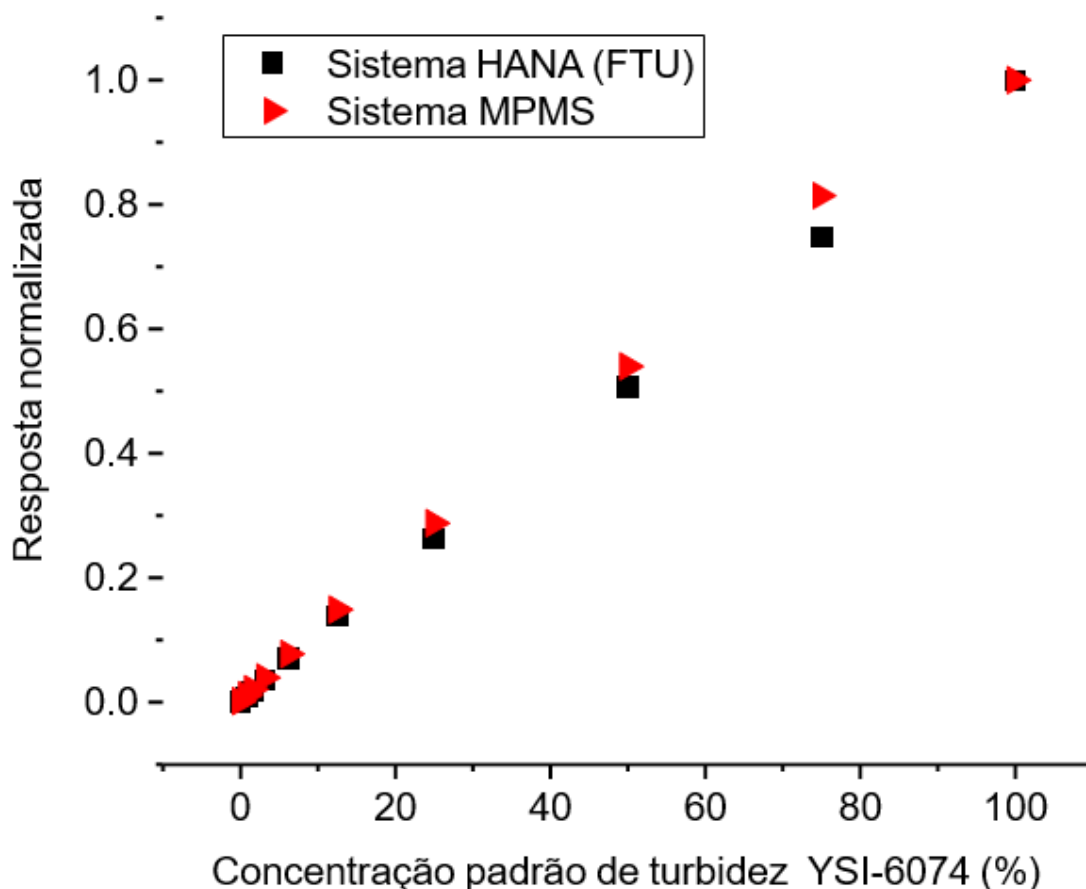
A Figura 24 mostra os resultados experimentais da concentração de chl-a em ambiente controlado, cujas leituras foram obtidas utilizando-se o sistema proposto, denominado de MPMS (*Multi Parameter Multispectral Sensor*). Os resultados foram comparados com a resposta de um sistema dedicado (comercial), sonda “**Trilux Chelsea Technologies Group**”. O sistema projetado e o sistema comercial apresentaram respostas completamente equivalentes dado que a inclinação das curvas de calibração do sistema projetado e do sistema comercial são aproximadamente equivalentes, como mostrado na resposta normalizada de ambos sistemas (Figura 24).

Figura 24 - Resposta noramalizada do sistema projetado neste trabalho (MPMS) e do sistema comercila Trilux-Chelsea para monitoração da concentração de Chl-a num sistema aquático.



O sistema MPMS, também, foi projetado para o monitoramento do grau de turbidez em tanques de piscicultura. A resposta normalizada do sistema MPMS e do sistema padrão HANA apresentaram respostas equivalentes como podemos observar na Figura 25.

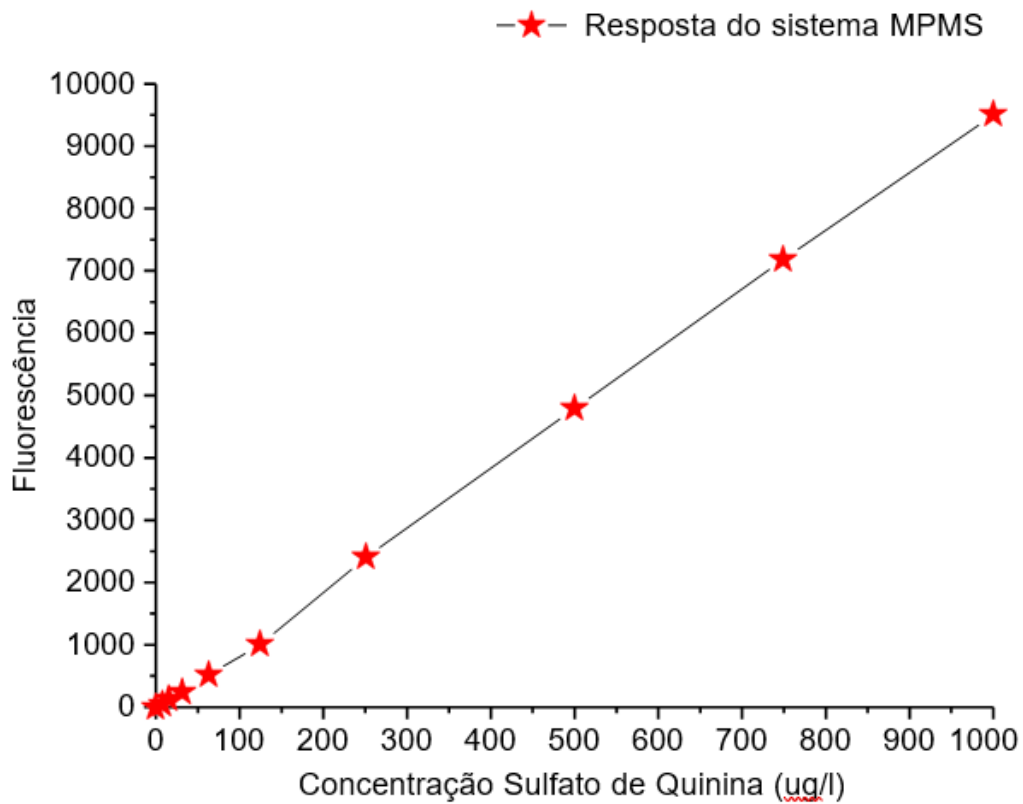
Figura 25 - Resposta normalizada do sistema projetado (MPMS) e do sistema HANA (FTU) na medida de concentração de turbidez de um sistema aquático.



Finalmente o sistema de monitoramento da qualidade da água MPMS foi utilizado para a detecção e determinação da concentração de matéria orgânica dissolvida denominada de CDOM. Neste caso para obter a curva de calibração foi utilizado concentrações bem definidas de sulfato de Quinina, que é um composto utilizado como padrão de calibração para detecção de CDOM, dada sua resposta de absorção óptica.

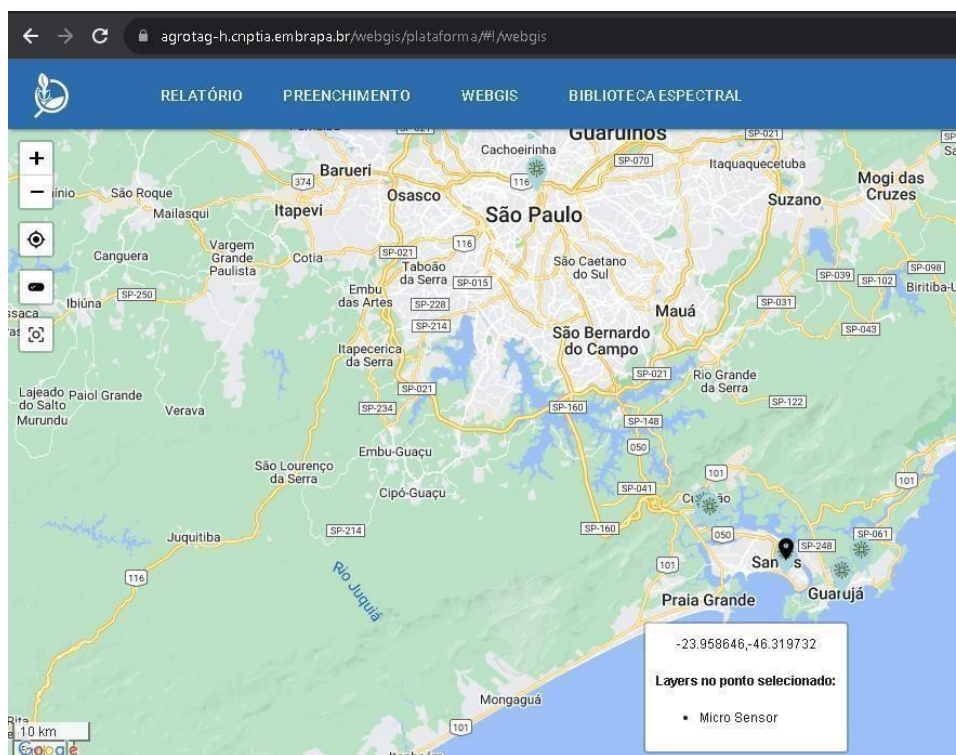
Os resultados apresentados na Figura 26 mostram que o sistema de sensoriamento responde de forma linear à concentração da Quinina. Como a resposta fluorescente da Quinina é equivalente a resposta fluorescente de CDOM, o sistema proposto pode ser aplicado de forma satisfatória para o monitoramento da matéria orgânica colorida dissolvida denominada de CDOM.

Figura 26 - Resposta do sistema MPMS em relação à concentração de matéria orgânica CDOM, utilizando-se como referência de calibração a concentração de quinina.



Os resultados do sistema de monitoramento da qualidade de água mostraram-se eficientes tanto na leitura e transmissão de dados desde pontos remotos para a central de monitoramento (servidor) compatível com o sistema AGROTAG utilizado pela EMBRAPA (Figura 27).

**Figura 27 - Interface do sistema AGROTAG com visualização web, com pontos de mapeamento do sensor com localização simulada. Disponível em: <https://www.agrotag-h.cnptia.embrapa.br/webgis/plataforma/#!/webgis>. Acesso em: 01/10/2023.**



## 4. CONCLUSÕES

A criação de peixes exige controle sobre a qualidade da água do ambiente utilizado tanto para garantir a produtividade da piscicultura quanto para minimizar os impactos ambientais da atividade no meio ambiente. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta a proposta de um sistema de monitoramento de parâmetros ambientais voltados para a piscicultura utilizando redes IoT e sensores multiespectrais.

O Sensor MPMS da abreviatura do inglês *Multi Parameter Multispectral Sensor*, trata-se de uma Plataforma Digital Integrada aplicada no Monitoramento e Controle da Qualidade da Água de Parâmetros Ambientais, tais como: Clorofila-a, *Colored dissolved organic matter* (CDOM), Turbidez, Oxigênio Dissolvido e Temperatura em Multiprofundidades. A tecnologia foi desenvolvida para ser suportada e instalada *in-situ* em barragens, estações de tratamento e rios, com conexão para troca de dados utilizando rede IoT LoRaWAN.

Para validação e testes do parâmetro de Clorofila-a, o sensor MPMS foi comparado com o sensor TriLux da *Chelsea Technologies Group*, referência no mercado para o monitoramento de clorofila-a. Os resultados mostraram respostas plenamente equivalente, validando assim o sistema de sensoriamento e o sistema de redes IoT proposto.

O parâmetro de Turbidez, lido pelo sensor MPMS foi comparado com o Turbidímetro HANNA HI 93703, também considerado modelo no mercado nacional e internacional. Os resultados mostraram que o nosso sistema consegue reproduzir o padrão de turbidez na faixa completa de 0 a 100 % com um desvio que varia entre  $\pm 0\%$  a  $\pm 4\%$  em relação à resposta padrão (HANA), indicando a excelente qualidade de nosso sistema. Enquanto que o parâmetro de CDOM, foi aferido pelo sensor MPMS, utilizando solução padrão em diferentes concentrações de sulfato de quinina preparada em laboratório e comparada com respostas de fluorescência obtidas pelo espectrofotômetro de fluorescência Agilent Cary Eclipse, mostrando uma resposta linear como desejado na resposta de sensores.

A sonda de monitoramento de gradiente de temperatura num sistema aquático mostrou-se eficiente com um desvio de precisão entre 2,8% a 3,6% resultando adequado para distinguir gradientes de temperatura de até 0,5 °C de diferença.

O sistema de monitoração dos parâmetros de qualidade de um sistema

aquático (tanques de piscicultura) está constituída de duas sondas de imersão, uma sonda de temperatura constituída por material impermeável e uma rede de sensores DS18B20 conectados em um barramento de comunicação digital OneWire configurados com um circuito de auto endereçamento; e a outra sonda constituída por material polimérico escuro para inibir a interferência de luz externa, já que nesta sonda es integrada o sistema MPMS de sensoriamento e um sistema de fibras opticas que guian a luz de excitação e resposta do sistema que monitoram in-situ os parâmetros de Chl-a, CDMON e turbidez do sistema aquático. A configuração do controlador foi desenvolvida em ambiente de desenvolvimento em linguagem C++, com comunicação sem fio a Internet para transmissão dos dados e disponibilização em um servidor em nuvem com visualização em um *front-end web*.



## 5. REFERÊNCIAS

- ALBURQUERQUE, M.; RESENDE, L.; GONZALEZ, J.; NUNES, R.; BOCHNER, R. **O amplificador Lock-in**. Brasil. CBPF-NT-001, 2008.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. American Public Health Association. 2017.
- BERG, Jeremy M.; TYMOCZKO, John L.; STRYER, Lubert. **Biochemistry**. 5. ed. New York: W. H. Freeman, 2002.
- BESSON, M.; VANDEPUTTE, M.; VAN ARENDONK, J.A.M.; DE BOER, I.J.M.; QUILLET, E.; KOMEN, H. **Influence of water temperature on the economic value of growth rate in fish farming: The case of sea bass (*Dicentrarchus labrax*) cage farming in the Mediterranean**. *Aquaculture*, Volume 462, 2016, Pages 47-55, ISSN 0044-8486.
- Barreto, C. F., Miranda-Filho, K. C., Barreto, L. M. L., Santos, F. A. F., & Soares, F. V. **Water quality parameters and biotic factors affecting the fish community structure in a tropical fish farm**. *Brazilian Journal of Biology*, 80(2), 368-377. 2020.
- Coble, P. G. **Marine optical biogeochemistry: the chemistry of ocean color**. *Chemical reviews*, 107(2), 402-418. 2007.
- Ding, J., Lu, J., Li, D., Huang, J., Wang, H., & Liu, L. **Application of infrared turbidity sensors in real-time monitoring of water quality: a review**. *Journal of Sensors*, 2020, 1-13.2020.
- Hecht, T., Assunção, P., & Rosa Filho, E. F. **Impact of water turbidity on gill structure and mitochondrial function in the Amazonian fish tambaqui (*Colossoma macropomum*)**. *Fish Physiology and Biochemistry*, 41(3), 681-690. 2015.
- BHARDWAJ, J.; GUPTA, K. K. **A Review of Emerging Trends on Water Quality Measurement**. *Sensors*, 2015, International Conference on Technologies for Sustainable Development (ICTSA-215), Fev. 04 -06, 2015, Mumbai, India.
- BOYD, C.E. & TUCKER, C.S. **Pond aquaculture water quality management**. Boston: Kluwer Academic Publishers. 700 p. 1998
- BRAGA, M. S.; SALCEDO, W. J. **Sistemas Optoeletrônicos portáteis para**

**detecção de gases, oxigênio dissolvido e de metais pesados aplicados no controle ambiental.** 2016. 192 f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

BRAGA, M. S.; JAIMES, R. F. V. V.; BORYSOW, W.; GOMES, O. F. e SALCEDO, W. J. **Portable Multispectral Colorimeter for Metallic Ion Detection and Classification.** *Sensors*. [s.l.], v. 17, n. 8, p. 1730-1744, 28 jul. 2017. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/s17081730>.

CETESB. **Apêndice D – Índices de Qualidade das Águas.** 32p. São Paulo, 2020. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2017/11/Ap%C3%AAndice-D-%C3%8Dndices-de-Qualidade-das-%C3%81guas.pdf>. Acesso em: 05/12/2019.

CLARK, L. C. Jr. **GUEST EDITORIAL**, *Biosensors & Bioelectronics*, vol. 8, n. 1, p iii-vi, 1993.

COBLE, P. **Marine Optical Biogeochemistry: The Chemistry of Ocean Color.** *Chemical Reviews*. 107 (2): 402-418. Florida, 2007.

COVA, I.; LONGONI, A.; FREITAS, I. **Versatile digital Lock-in detection technique: Application to spectrofluorometry and other fields.** Itália. *Review of Scientific Instruments*, v. 50, p. 296, 1979.

EBELING, D.; PATEL, V.; FINDLAY, M.; STETTER, J. ***Electrochemical ozone sensor and instrument with characterization of the electrode and gas flow effect.*** *Sensor and Actuators. B*, vol. 137, p. 129-133, 2009.

FERREIRA, H. G. C.; CANEDO, E. D.; SOUSA, R. T. **"IoT architecture to enable intercommunication through REST API and UPnP using IP, ZigBee and arduino"** 2013 IEEE 9th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob), Lyon, 2013, pp. 53-60.

FERREIRA, M. A. C. **Desenvolvimento de sensores de oxigênio dissolvido utilizando métodos eletroquímicos e ópticos para monitoramento em tempo real da qualidade da água.** 2007. 156f. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2007.

FOOTE, C.S. **Photosensitized oxidation and singlet oxygen: Consequences in biological systems.** *Advances in Photochemistry*, 6, 1-61. 1968.

Fichot, C. G., & Miller, W. L. **Fluorescence-based quantification of dissolved and**

**particulate organic carbon in the Western Arctic Ocean—Method evaluation and field application.** *Marine Chemistry*, 121(1-4), 34-45. 2010.

GOUTERMAN, M. et al. **Spectra of porphyrins.** *The Journal of Chemical Physics*, 39(1), 289-301; 1963.

GRILLO, G. J. et al. **Amplitude and Phase Fluorescence-Spectroscopy Methods for Dissolved Oxyge.** *Instrumentation and Measurement Technology Conference*, p. 922-924, 2005.

GUBBI, J., Buyya, R., Marusic, S., Palaniswami, M., (2013) “**Internet of things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions**”, *Future Generation Computer Systems* 29 (2013), p. 1645-1660.

HASLMEIER, A.; KEMPE, S.; SECKBACH, J. **Life on Earth and other Planetary Bodies.** Springer Science & Business Media. ISBN 978-94-007-4966-5. 2012.

JARVENPAA, M.; LINDSTROM, K. **Water turbidity by algal blooms causes mating system breakdown in a shallow-water fish, the sand goby *Pomatoschistus minutus*.** *Proceedings Of The Royal Society Of London. Series B: Biological Sciences*, [s.l.], v. 271, n. 1555, p. 2361-2365, 22 nov. 2004. The Royal Society. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2004.2870>.

LACHI, G. B.; SIPAÚBA-TAVARES, L. H. **QUALIDADE DA ÁGUA E COMPOSIÇÃO FITOPLANCTÔNICA DE UM VIVEIRO DE PISCICULTURA UTILIZADO PARA FINS DE PESA ESPORTIVA E IRRIGAÇÃO.** *B. Inst. Pesa, São Paulo*, 34(1): 29-338, 2008.

LEE, P. G e LAWRENCE, A. L. **Feed management for recirculation of aquaculture system.** *Advocate*, 4(1): 27-28. 2001.

LEE, S-K.; OKURA, I. **Photoluminescent determination of oxygen using metalloporphyrin-polymer sensing systems.** *Spectrochimica Acta Part A*, n. 54, p. 91-100, 1998.

LOPES, Jackelline Cristina Ost. **Técnico em agropecuária: piscicultura.** Florianópolis: EDUFPI, 2012. 82 p.

LOURENÇO, José Nestor de Paula et al. **A IMPORTÂNCIA DE MONITORAR A QUALIDADE DA ÁGUA NA PISCICULTURA.** Manaus: Embrapa, 1999. 4 p.

KARJALAINEN, H.; SEPPALA, S.; WALLS, M. **Nitrogen, phosphorus and *daphnia* grazing in controlling phytoplankton biomass and composition: an experimental**

stuy. *Hydrobiologia*, 363: 309-321. 1998.

KUMAR, N. S.; Vuayalakshmi, B.; Prarthana, R. J.; Shankar, A. "**IOT based smart garbage alert system using Arduino UNO**" 2016 IEEE Region 10 Conference (TENCON), Singapore, 2016, pp. 1028-1034.

Lu, L., Song, J., Shi, X., Wang, C., Liu, Y., & Ren, X. **Real-time monitoring of turbidity in water using mid-infrared diffuse reflection spectroscopy**. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 288, 528-535. 2019.

MCDONAGH, C. et al. Phase fluorometric dissolved oxygen sensor. *Sensors and Actuators B*, v. 74, 124-130, 2001.

MCKINSEY, Deborah M.; CHAPMAN, Lauren J. Dissolved oxygen and fish distribution in a Florida spring. **Environmental Biology Of Fishes**, Gainesville, v. 53, p. 211 - 223, 1998.

Nelson, N. B., Coble, P. G., & Vanderbloemen, L. **Dissolved Organic Matter**. In *Environmental Indicators* (pp. 205-235). Springer, Cham. 2020.

NI, S.; SU, J.; NIE, L. e QU, S. "**Design of multi-point wireless temperature measuring system**," 2012 Proceedings of International Conference on Modelling, Identification and Control, Wuhan, Hubei, China, 2012, pp. 422-425.

NOERNBERG, M. A. et al. **Estudo da variabilidade temporal da concentração de clorofila estimada por satélite na plataforma continental catarinense: latitude 26° 46' S**. **Anais XIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 2017, Florianópolis - Brasil: INPE, 2017. p. 4635-4642.

NUNES, R.; ALBURQUERQUE, M.; **O amplificador Lock-in**. Brasil. CBPF-nT-002, 2006.

O'NEILL, K.; SCHREIDER, M.; MCARTHUR, L.; SCHREIDER, S. **Changes in the water quality characteristics during a macroalgal bloom in a coastal lagoon**. *Ocean & Coastal Management* (2015) 1-5 in Press.

Oliveira, Fátima Cristina de; Salcedo, Walter Jaimes. **Sistema multiespectral portátil para monitoramento de oxigênio dissolvido em meios aquosos e da dinâmica de crescimento microbiano**. 2017. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

PARA, J., COBLE, P. G., CHARRIÈRE, B., TEDETTI, M., FONTANA, C., and

SEMPÉRÉ, R. **Fluorescence and absorption properties of chromophoric dissolved organic matter (CDOM) in coastal surface waters of the northwestern Mediterranean Sea, influence of the Rhône River**, *Biogeosciences*. 4083–4103, <https://doi.org/10.5194/bg-7-4083-2010>, 2010.

PIVELI, Roque Passos; KATO, Mario Takayuki. **Qualidade das águas e poluição: aspectos físico-químicos**. São Paulo: ABES, 2006, 285p.

PROBST, P.; COLLET, B. **Low-frequency digital Lock-in amplifier**. Suíça. *Review of Scientific Instruments*, v. 56, p. 466, 1984.

RESENDE, L. C.; ALBUQUERQUE, M. P. **Desenvolvimento de um Amplificador Lock-In com DSP operando em Altas Frequências**. 2008. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas. Rio de Janeiro, 2008.

ROTTA, M. A. **Aspectos Gerais da Fisiologia e Estrutura do Sistema Digestivo dos Peixes Relacionados à Piscicultura**. ISSN 1517-1973. Documentos 53 EMBRAPA. Corumbá, 2003.

RYDH, A. **Advantages of synchronized Lock-in amplifiers in experiments**. Suécia. In: APS March Meeting, 2010. EUA. Disponível em: <http://meetings.aps.org/Meeting/MAR10/Event/123647>. Acesso em: 12/01/2020.

SALCEDO, W. J.; RAMIREZ-FERNANDES, F. J.; RUBIM, J. C. **Photoluminescence quenching effect on porous silicon films for gas sensors application**. *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, v. 60, n. 5, p. 1065-1070, 2004.

SANTOS, D. S.; SALCEDO, W. J. **Sistema de processamento de sinais e geração de imagens químicas para sensores LAPS, FMOS e TAOS baseado em Dispositivos Lógicos Programáveis FPGA**. 2014. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SCOFIELD, J.H. **Frequency-domain description of a Lock-in amplifier**. Maryland, EUA. *American Association of Physics Teachers*, v. 62 n. 2, p. 129-133, 1993.

SERAGUCI, Vinícius Gomes; RODA, Valentin Obac. **Sonda de monitoramento da qualidade da água: módulos de medida de pH, oxigênio dissolvido e interfaceamento i2c com microcontrolador**. 2009. 68 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica Com ênfase em Eletrônica, Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

SHANG-KUN, R.; YAO, Y.; ZHONG-JI, L. **Circuit Design for Alternating Current Field Measurement make use of Lock-in Amplifier**. China. Applied Mechanics and Materials, v. 52-54, p. 1107-1112, 2011.

SHEN, H; FU, J.e CHEN, Z. "**Embedded system of temperature testing based on DS18B20**". 2006 International Technology and Innovation Conference (ITIC 2006). Hangzhou, 2006, pp. 2223-2226.

SHI, Z. et al. ***In-site chlorophyll-a fluorometer based on lock-in amplifier***. Proc. SPIE 10850, Ocean Optics and Information Technology, Beijing, China, 2019.

SMITH, J. et al. **Integrating In-Situ and Remote Sensing Techniques for Water Quality Assessment**. Environmental Science and Technology, 54(12), 6937-6950; 2020.

JOHNSON, R. et al. **Satellite Remote Sensing for Water Quality Assessment: A Global Review**. Remote Sensing of Environment, 231, 111223. 2019.

SONNAILLON, M. O.; BONETTO, F. J. **A low-cost, high-performance, digital signal processor-based Lock-in amplifier capable of measuring multiple frequency sweeps simultaneously**. Argentina. Review of Scientific Instruments, v.76, 024703, 2005.

THOMAS, D.; MCPHERSON, R.; PAUL, G.; IRVINE, J. "**Optimizing Power Consumption of Wi-Fi for IoT Devices: An MSP430 processor and an ESP-03 chip provide a power-efficient solution**" in IEEE Consumer Electronics Magazine, vol. 5, no. 4, pp. 92-100, Oct. 2016.

Tang, L., Lin, K., Zhang, H., Shi, Y., & Sun, X. **Monitoring of water turbidity using near-infrared spectroscopy and particle swarm optimization**. Journal of Environmental Sciences, 68, 56-63. 2018.

TURNER, E.L.; PAUDEL, B.; MONTAGNA, P. A. **Baseline nutrient dynamics in shallow well mixed coastal lagoon with seasonal harmful algal blooms and hypoxia formation**. Marine Pollution Bulletin (2015), in Press.

WANG, X.; LIU, M.-L.; CHENG, X.-L.; LIN, J.-M. ***Flow-based luminescence-sensing methods for environmental water analysis***. Trends in Analytical Chemistry, vol.28, n. 1, p. 75-87, 2009.

WANG, C., LI, D., ZHANG, L., et al. **A Portable Measurement Instrument for the**

**Measurement of Water Body Chlorophyll-a in the Support of Fluorescence Detection**, Computer and Computing Technologies in Agriculture V. Springer Berlin Heidelberg, 484-494(2012).

WANG, C.; ZHANG, J.; LI, F.; CUI, Z.; XU, C. **Design of a non-magnetic shielded and integrated electromagnetic tomography system**. China. Measurement Science and Technology, v. 22, p. 1-10, 2011.

WANG, X.; LI, S. **"Multipoint Temperature Measurement System of Hot Pack Based on DS18B20,"** 2010 WASE International Conference on Information Engineering, Beidaihe, Hebei, 2010, pp. 26-29.

Zhang, J., Yang, J., Li, Y., Liu, Y., Li, X., & Cui, X. **Effects of dissolved organic matter on water quality and fish growth performance in aquaculture systems**. Aquaculture, 540, 736714. 2021.

## 6. ANEXO 1 – CÓDIGO FONTE (ESTRUTURA PRINCIPAL)

```

int numeroDeLeiturasRealizadasTurbidez = 0;int
numeroDeLeiturasRealizadasCDOM = 0;
int numeroDeLeiturasRealizadasClha = 0; //rev10.0_temp
int numeroDeLeiturasRealizadasTemperatura = 0; //rev10.0_temp

/////////////////////////////////////////////////////////////////
// Projeto: MPMS - Multi Parameter Multispectral Sensor - SONDA MULTIPARAMETROS
// Autor: Felipe S. Mendes

//Sensores de cada variavel:
//Turbidez - NIR
//CDOM - leitura em 470nm (F3) - excita com 365nm
//clha - leitura em 670nm (F8) - excita com 450nm
//OD - leitura em 644nm

const bool HAB_TEST = true; //26/04/2021 - fiz isso pra deixar os serial.print somente quando
habilitado
const bool HAB_CALIBRACAO_TEMP = false; //rev06.3 long
contadorLeiturasTemperatura = 0; //rev06.3

/////////////////////////////////////////////////////////////////
// LIBRARIES
/////////////////////////////////////////////////////////////////

//Utilizacao dos sensores de temperatura DS18B20
#include "OneWire.h"
#include "DallasTemperature.h"

//Comunicacao com os sensores multiespectrais AS7341 i2c#include
<Wire.h> //rev10.0

//Biblioteca para comunicação com o display NEXTION
#include "Nextion.h" //rev03.0

//Biblioteca para linearização de leituras
#include "linearizador.h" //rev03.9

//Bibliotecas para conexao wifi e uso da internet
#include <WiFi.h> //rev08.2
#include <HTTPClient.h> //rev08.2

//Bibliotecas para conexao com o modulo SD Card - rev09.2#include
"FS.h"
#include "SD.h"#include
"SPI.h"

/////////////////////////////////////////////////////////////////
// HARDWARE MAP
/////////////////////////////////////////////////////////////////

//Pins do ESP-WROOM-32U
/////////////////////////////////////////////////////////////////

const int ONE_WIRE_BUS = 4; //Pin 4 - DATA (Azul)
const int pinClock = 12; //pin 12 - CLK (Verde)
const int pinReset = 14; //pin 14 - VDD (Vermelho)
const int pinLEDoperacaoTemp = 15; //pin 15 - LED (laranja)
//pin 3V3 - ON (arameo)
//pin GND - GND (Marrom)

const int pinCDOMExcitation = 27; //pin27 - pin3 (LM224) - Port1 do driverconst
int pinChlorophyllExcitation = 13; //pin13 - pin5 (LM224) - Port2 do driver const int
pinTurbidityExcitation = 32; //pin32 - pin10(LM224) - Port3 do driver const int
pinDisolvedOxygenExcitation = 33; //pin

const int pinEnableMultiespectral1 = 17; //rev10.0_1103
const int pinEnableMultiespectral2 = 0; //rev10.0_1103

const int pinOneWireBusOD = 25; //rev10.0_tpk
const int pinOneWireBusMultiParam = 26; //rev10.0_tpk

//Pins do ESP-WROOM-32
/////////////////////////////////////////////////////////////////
/*
const int ONE_WIRE_BUS = 4; //Pin D4 - DATA (Azul)
const int pinClock = 18; //pin D18 - CLK (Verde)
const int pinReset = 19; //pin D19 - VDD (Vermelho)
//pin GND - GND (Marrom)
const int pinLEDoperacaoTemp = 15; //pin D15 - LED (laranja)

```



```

//pin 3V3 - ON (aramelo)

const int pinChlorophyllExcitation = 25; //pinconst
int pinCDOMExcitation = 26; //pin
const int pinTurbidityExcitation = 32; //pin const int
pinDisolvedOxygenExcitation = 33; //pin

const int pinEnableMultiespectral1 = 17; //rev10.0_1103const
int pinEnableMultiespectral2 = 0; //rev10.0_1103
*/

////////////////////////////////////
// GLOBAL VARIABLES
////////////////////////////////////

//Configuracoes do Equipamento - rev03.1
////////////////////////////////////

bool config_habSondaTempMultiprofundidades = false; //default: true
bool config_habSondaClha = false; //default: true
bool config_habSondaCDOM = false; //default: false
bool config_habSondaTurbidez = true; //default: false
bool config_habSondaOD = false; //default: false

const int DELAY_READING_CLHA = 4000; //tornar isso como parametro depois const int
DELAY_READING_CDOM = 4000; //tornar isso como parametro depois const int
DELAY_READING_TURBIDITY = 4000; //tornar isso como parametro depois const int
DELAY_READING_OD = 4000; //tornar isso como parametro depois

//Config - AS7341 - clha - rev03.3int
config_clhaGanho = 512;
int config_clhaATIME = 7; int
config_clhaASTEP = 65534;
int config_clhaQtdeLeituras = 1;
int config_clhaIntervalo = 10000; //10s = 10 000 ms

//Config - AS7341 - Turbidez - rev03.4int
config_turbidezGanho = 512;
int config_turbidezATIME = 7; int
config_turbidezASTEP = 64534;
int config_turbidezQtdeLeituras = 1;
int config_turbidezIntervalo = 10000; //10s = 10.000ms

//Config - AS7341 - CDOM - rev03.4int
config_cdomGanho = 512;
int config_cdomATIME = 7; int
config_cdomASTEP = 65534;
int config_cdomQtdeLeituras = 1;
int config_cdomIntervalo = 10000; //10S = 10 000 ms

//Config - AS7341 - OD - rev03.4
int config_oxigenioDissolvidoGanho = 0; int
config_oxigenioDissolvidoATIME = 0; int
config_oxigenioDissolvidoASTEP = 0;
int config_oxigenioDissolvidoQtdeLeituras = 1; int
config_oxigenioDissolvidoIntervalo = 0;

//Calibracao - Leitura clh-a - rev03.5int
config_clhaX0 = 0;
int config_clhaX1 = 0; int
config_clhaX2 = 0; int
config_clhaX3 = 0;

int config_clhaX4 = 0; int
config_clhaX5 = 0; int
config_clhaX6 = 0; int
config_clhaX7 = 0; int
config_clhaX8 = 0; int
config_clhaX9 = 0;

int config_clhaY0 = 0; int
config_clhaY1 = 0; int
config_clhaY2 = 0; int
config_clhaY3 = 0; int
config_clhaY4 = 0; int
config_clhaY5 = 0; int
config_clhaY6 = 0; int
config_clhaY7 = 0; int
config_clhaY8 = 0; int
config_clhaY9 = 0;

//Calibracao - Leitura Turbidez - rev03.5int
config_turbidezX0 = 0;
int config_turbidezX1 = 1; int
config_turbidezX2 = 2; int
config_turbidezX3 = 3; int
config_turbidezX4 = 4; int
config_turbidezX5 = 5; int
config_turbidezX6 = 6; int
config_turbidezX7 = 7; int

```

```

config_turbidezX8 = 8; int
config_turbidezX9 = 9;

int config_turbidezY0 = 0; int
config_turbidezY1 = 1; int
config_turbidezY2 = 2; int
config_turbidezY3 = 3; int
config_turbidezY4 = 4; int
config_turbidezY5 = 5; int
config_turbidezY6 = 6; int
config_turbidezY7 = 7; int
config_turbidezY8 = 8; int
config_turbidezY9 = 9;

//Calibracao - Leitura CDOM - rev03.5 int
config_cdomX0 = 0;
int config_cdomX1 = 0; int
config_cdomX2 = 0; int
config_cdomX3 = 0; int
config_cdomX4 = 0; int
config_cdomX5 = 0; int
config_cdomX6 = 0; int
config_cdomX7 = 0; int
config_cdomX8 = 0; int
config_cdomX9 = 0;

int config_cdomY0 = 0; int
config_cdomY1 = 0; int
config_cdomY2 = 0; int
config_cdomY3 = 0; int
config_cdomY4 = 0; int
config_cdomY5 = 0; int
config_cdomY6 = 0; int
config_cdomY7 = 0; int
config_cdomY8 = 0; int
config_cdomY9 = 0;

//Calibracao - Leitura OD Oxigenio dissolvido - rev03.5 int
config_oxigenioDissolvidoX0 = 0;
int config_oxigenioDissolvidoX1 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX2 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX3 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX4 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX5 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX6 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX7 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoX8 = 0;
int config_oxigenioDissolvidoX9 = 0;

int config_oxigenioDissolvidoY0 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY1 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY2 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY3 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY4 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY5 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY6 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY7 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY8 = 0; int
config_oxigenioDissolvidoY9 = 0;

//Variaveis realcionados aos modulo SD card - rev09.2
////////////////////////////////////char
nameFileSDcard[6] = "";

//Variaveis realcionados aos controles de ciclo automatico e operacao manual - rev03.B
//////////////////////////////////// bool
cicloAutomatico = false;

//Sonda de Temperatura em multi profundidades
////////////////////////////////////const int
MAX_TEMPERATURE_SENSORS = 8;

#define TEMPERATURE_PRECISION 9
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS); DallasTemperature
sensors(&oneWire);
DeviceAddress enderecos[MAX_TEMPERATURE_SENSORS];
DeviceAddress auxAddress;
int qtdeDeSensores = 0;
int ultimaQtdeDeSensores = 0; bool
novoSensorEncontrado = false;

//Medicao de Tempratura nas sondas multiespectrais ópticas - rev10.0_tpk
////////////////////////////////////

```

```

OneWire oneWireMultiParam(pinOneWireBusMultiParam);
DallasTemperature sensorTempMultiParam(&oneWireMultiParam);
DeviceAddress addressSensorTempMultiParam;

//Chlorophyll - rev10.0
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

#define _i2cAddr (0x39) int
clha_ATIME = 0x07; int
clha_ASTEP_MSB = 0xFF;int
clha_ASTEP_LSB = 0xFE;int
clha_GAIN = 0x0A;

//Variaveis para a Ultima Leitura dos Parametros Ambientais
//////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////float
tempProbe[MAX_TEMPERATURE_SENSORS];

uint16_t auxSpectrum[10]; //rev03.8

//clha - Clorofila Chlorophyll
float chlorophyllLastMeasurement = 0;
//rev08.1-uint16_t chlorophyllSpectrumLastMeasurement[10]; //F1,F2,F3,F4,F5,F6,F7,F8,NIR,CLEARint
chlorophyllSpectrumLastMeasurement[10]; //rev08.1
Linearizador linearizadorChlorophyll = Linearizador(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9);
//rev03.8
int indiceLeituraChlorophyll = 0; //rev03.D

//CDOM
float cdomLastMeasurement = 0;
//rev08.1-uint16_t cdomSpectrumLastMeasurement[10];
int cdomSpectrumLastMeasurement[10]; //rev08.1
Linearizador linearizadorCDOM = Linearizador(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9); //rev03.8
int indiceLeituraCDOM = 0; //rev03.D

//Turbidez - Turbidity
float turbidityLastMeasurement = 0;
//rev08.1-uint16_t turbiditySpectrumLastMeasurement[10]; int
turbiditySpectrumLastMeasurement[10]; //rev08.1
Linearizador linearizadorTurbidity = Linearizador(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9);
//rev03.8
int indiceLeituraTurbidity = 0; //rev03.D

//OD - Oxigenio Dissolvido Dissolved Oxygenfloat
dissolvedOxygenLastMeasurement = 0;
//rev08.1-uint16_t dissolvedOxygenSpectrumLastMeasurement[10];int
dissolvedOxygenSpectrumLastMeasurement[10]; //rev08.1
Linearizador linearizadorDissolvedOxygen = Linearizador(0,1,2,3,4,5,6,7,8,9,0,1,2,3,4,5,6,7,8,9);
//rev03.8
int indiceLeituraOD = 0; //rev03.D

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// CONEXÃO WEB Wifi AgroTag - REV08.2
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

const String posLatitude = "-23.893450"; const
String posLongitude = "-46.425471";const String
idDevice = "100000";
const String statusDevice = "WORK"; const
String batteryVoltage = "19.1";

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// DISPLAY NEXTION - VISUALIZADOR IHM - REV03.0
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

int currentPage = 0;
const int INDEX_PAGE_INICIAL = 0;const
int INDEX_PAGE_MENU = 1;
const int INDEX_PAGE_TEMPERATURA = 2; const
int INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA = 3;const int
INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM = 4;const int
INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB = 5;const int
INDEX_PAGE_CALIBRA_OD = 6; const int
INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA = 7; const int
INDEX_PAGE_CONFIG_TURB = 8; const int
INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM = 9; const int
INDEX_PAGE_CONFIG_OD = 10; const int
INDEX_PAGE_OPERACAO = 11; const int
INDEX_PAGE_CREDITOS = 12;
const int INDEX_PAGE_CONFIG_01 = 14; //rev03.A

//Paginas
//////////

NexPage pageIndex = NexPage(0, 0, "index");
NexPage pageMenu = NexPage(1, 0, "Menu");

```

```
NexPage pageTemperatura = NexPage(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 0, "Temperatura"); NexPage
pageCalibraClha = NexPage(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 0, "CalibraClha");NexPage
pageCalibraCdom = NexPage(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 0, "CalibraCdom");NexPage
pageCalibraTurb = NexPage(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 0, "CalibraTurb");NexPage
pageCalibraOD = NexPage(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 0, "CalibraOD"); NexPage
pageConfigClha = NexPage(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 0, "ConfigClha"); NexPage
pageConfigTurb = NexPage(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 0, "ConfigTurb"); NexPage
pageConfigCdom = NexPage(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 0, "ConfigCdom"); NexPage
pageConfigOD = NexPage(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 0, "ConfigOD"); NexPage
pageOperacao = NexPage(INDEX_PAGE_OPERACAO, 0, "Operacao"); NexPage
pageCreditos = NexPage(INDEX_PAGE_CREDITOS, 0, "Creditos"); NexPage
pageConfig01 = NexPage(INDEX_PAGE_CONFIG_01, 0, "ConfigMult");

//Page Temperatura (2)
////////////////////////////////////

NexText displayLeituraTemperatura0 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 2, "tSensor0"); NexText
displayLeituraTemperatura1 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 3, "tSensor1"); NexText
displayLeituraTemperatura2 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 5, "tSensor2");
```

```
NexText displayLeituraTemperatura3 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 4, "tSensor3"); NexText
displayLeituraTemperatura4 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 6, "tSensor4"); NexText
displayLeituraTemperatura5 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 7, "tSensor5"); NexText
displayLeituraTemperatura6 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 9, "tSensor6"); NexText
displayLeituraTemperatura7 = NexText(INDEX_PAGE_TEMPERATURA, 8, "tSensor7");
```

```
//Page Calibracao clha (3)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayX0clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 3, "nX0"); NexNumber
displayX1clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 7, "nX1"); NexNumber
displayX2clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 11, "nX2");NexNumber
displayX3clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 10, "nX3");NexNumber
displayX4clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 13, "nX4");NexNumber
displayX5clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 15, "nX5");NexNumber
displayX6clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 20, "nX6");NexNumber
displayX7clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 23, "nX7");NexNumber
displayX8clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 22, "nX8");NexNumber
displayX9clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 25, "nX9");
```

```
NexNumber displayY0clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 4, "nY0"); NexNumber
displayY1clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 8, "nY1"); NexNumber
displayY2clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 12, "nY2");NexNumber
displayY3clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 9, "nY3"); NexNumber
displayY4clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 14, "nY4");NexNumber
displayY5clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 16, "nY5");NexNumber
displayY6clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 19, "nY6");NexNumber
displayY7clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 24, "nY7");NexNumber
displayY8clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 21, "nY8");NexNumber
displayY9clha = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA, 26, "nY9");
```

```
//Page Calibracao CDOM (4)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayX0cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 4, "nX0"); NexNumber
displayX1cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 8, "nX1"); NexNumber
displayX2cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 12, "nX2");NexNumber
displayX3cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 11, "nX3");NexNumber
displayX4cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 14, "nX4");NexNumber
displayX5cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 16, "nX5");NexNumber
displayX6cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 21, "nX6");NexNumber
displayX7cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 24, "nX7");NexNumber
displayX8cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 23, "nX8");NexNumber
displayX9cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 26, "nX9");
```

```
NexNumber displayY0cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 5, "nY0"); NexNumber
displayY1cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 9, "nY1"); NexNumber
displayY2cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 13, "nY2");NexNumber
displayY3cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 10, "nY3");NexNumber
displayY4cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 15, "nY4");NexNumber
displayY5cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 17, "nY5");NexNumber
displayY6cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 20, "nY6");NexNumber
displayY7cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 25, "nY7");NexNumber
displayY8cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 22, "nY8");NexNumber
displayY9cdom = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM, 27, "nY9");
```

```
//Page Calibracao Turbidez (5)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayX0turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 4, "nX0"); NexNumber
displayX1turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 8, "nX1"); NexNumber
displayX2turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 12, "nX2");NexNumber
displayX3turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 11, "nX3");NexNumber
displayX4turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 14, "nX4");NexNumber
displayX5turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 16, "nX5");NexNumber
displayX6turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 21, "nX6");NexNumber
displayX7turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 24, "nX7");NexNumber
displayX8turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 23, "nX8");NexNumber
displayX9turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 26, "nX9");
```

```
NexNumber displayY0turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 5, "nY0"); NexNumber
displayY1turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 9, "nY1"); NexNumber
displayY2turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 13, "nY2");NexNumber
displayY3turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 10, "nY3");
```

```
NexNumber displayY4turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 15, "nY4"); NexNumber
displayY5turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 17, "nY5"); NexNumber
displayY6turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 20, "nY6"); NexNumber
displayY7turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 25, "nY7"); NexNumber
displayY8turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 22, "nY8"); NexNumber
displayY9turbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB, 27, "nY9");
```

```
//Page Calibracao Oxigenio Dissolvido OD (6)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayX0oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 4, "nX0"); NexNumber
displayX1oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 8, "nX1"); NexNumber
displayX2oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 12, "nX2"); NexNumber
displayX3oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 11, "nX3"); NexNumber
displayX4oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 14, "nX4"); NexNumber
displayX5oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 16, "nX5"); NexNumber
displayX6oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 21, "nX6"); NexNumber
displayX7oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 24, "nX7"); NexNumber
displayX8oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 23, "nX8"); NexNumber
displayX9oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 26, "nX9");
```

```
NexNumber displayY0oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 5, "nY0"); NexNumber
displayY1oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 9, "nY1"); NexNumber
displayY2oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 13, "nY2"); NexNumber
displayY3oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 10, "nY3"); NexNumber
displayY4oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 15, "nY4"); NexNumber
displayY5oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 17, "nY5"); NexNumber
displayY6oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 20, "nY6"); NexNumber
displayY7oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 25, "nY7"); NexNumber
displayY8oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 22, "nY8"); NexNumber
displayY9oxigenioDissolvido = NexNumber(INDEX_PAGE_CALIBRA_OD, 27, "nY9");
```

```
//Page Config clha (7)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayGanhoClha = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 3, "nGanho"); NexNumber
displayATIMEClha = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 6, "nATIME"); NexNumber
displayASTEPClha = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 7, "nASTEP"); NexNumber
displayQtdeLeiturasClha = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 4, "nQtdeLeituras");
NexNumber displayIntervaloClha = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 5, "nIntervalo"); NexText
displayTempIntegracaoClha = NexText(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 8, "tTempInteg"); NexNumber
displayADCFullScaleClha = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA, 9, "nADCfullScale");
```

```
//Page Config Turbidez (8)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayGanhoTurbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 3, "nGanho"); NexNumber
displayATIMETurbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 6, "nATIME"); NexNumber
displayASTEPTurbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 7, "nASTEP"); NexNumber
displayQtdeLeiturasTurbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 4, "nQtdeLeituras");
NexNumber displayIntervaloTurbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 5, "nIntervalo"); NexText
displayTempIntegracaoTurbidez = NexText(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 8, "tTempInteg"); NexNumber
displayADCFullScaleTurbidez = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_TURB, 10, "nADCfullScale");
```

```
//Page Config CDOM (9)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayGanhoCDOM = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 3, "nGanho"); NexNumber
displayATIMECDOM = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 6, "nATIME"); NexNumber
displayASTEPCDOM = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 7, "nASTEP"); NexNumber
displayQtdeLeiturasCDOM = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 4, "nQtdeLeituras");
NexNumber displayIntervaloCDOM = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 5, "nIntervalo"); NexText
displayTempIntegracaoCDOM = NexText(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 8, "tTempInteg"); NexNumber
displayADCFullScaleCDOM = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM, 10, "nADCfullScale");
```

```
//Page Config OD (10)
////////////////////////////////////
```

```
NexNumber displayGanhoOD = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 3, "nGanho"); NexNumber
displayATIMEOD = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 6, "nATIME"); NexNumber
displayASTEPOD = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 7, "nASTEP"); NexNumber
displayQtdeLeiturasOD = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 4, "nQtdeLeituras");
NexNumber displayIntervaloOD = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 5, "nIntervalo"); NexText
displayTempIntegracaoOD = NexText(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 8, "tTempInteg");
```

```

NexNumber displayADCFullScaleOD = NexNumber(INDEX_PAGE_CONFIG_OD, 10, "nADCfullScale");

//Page Operacao (11)
////////////////////////////////////

NexText displayLeituraClha = NexText(INDEX_PAGE_OPERACAO, 3, "tClorofila");NexText
displayLeituraCDOM = NexText(INDEX_PAGE_OPERACAO, 2, "tCDOM"); NexText
displayLeituraTurbidez = NexText(INDEX_PAGE_OPERACAO, 4, "tTurbidez"); NexText
displayLeituraOD = NexText(INDEX_PAGE_OPERACAO, 5, "tOD");
//rev06.1 - NexDSButton displayDsBtnStart = NexDSButton(INDEX_PAGE_OPERACAO, 6, "dsBtnStart");
//rev03.B
NexDSButton displayDsBtnSelectClha = NexDSButton(INDEX_PAGE_OPERACAO, 6, "bt0"); //rev06.2
NexDSButton displayDsBtnSelectCDOM = NexDSButton(INDEX_PAGE_OPERACAO, 7, "bt1"); //rev06.2
NexDSButton displayDsBtnSelectTurb = NexDSButton(INDEX_PAGE_OPERACAO, 8, "bt2"); //rev06.2
NexDSButton displayDsBtnSelectOD = NexDSButton(INDEX_PAGE_OPERACAO, 9, "bt3"); //rev06.2

//Page Config 01 Mult - Habilitações (14) - rev03.A
////////////////////////////////////

NexCheckbox displayChkboxClha = NexCheckbox(INDEX_PAGE_CONFIG_01, 4, "chkHabClha"); NexCheckbox
displayChkboxCDOM = NexCheckbox(INDEX_PAGE_CONFIG_01, 5, "chkHabCDOM"); NexCheckbox
displayChkboxTurbidez = NexCheckbox(INDEX_PAGE_CONFIG_01, 6, "chkHabTurb"); NexCheckbox
displayChkboxOD = NexCheckbox(INDEX_PAGE_CONFIG_01, 7, "chkHabOD");

//Nesse array, declaramos os objetos Nextion que terão interação de eventos touchNexTouch
*nex_listen_list[] =
{
    &pageIndex,
    &pageMenu,
    &pageTemperatura,
    &pageCalibraClha,
    &pageCalibraCdom,
    &pageCalibraTurb,
    &pageCalibraOD,
    &pageConfigClha,
    &pageConfigTurb,
    &pageConfigCdom,
    &pageConfigOD,
    &pageOperacao,
    &pageCreditos,
    &pageConfig01,
    &displayChkboxClha,
    &displayChkboxCDOM,
    &displayChkboxTurbidez,
    &displayChkboxOD,
    //&displayDsBtnStart,
    &displayDsBtnSelectClha,
    &displayDsBtnSelectCDOM,
    &displayDsBtnSelectTurb,
    &displayDsBtnSelectOD,
    NULL
};

////////////////////////////////////
// PROTOTYPES
////////////////////////////////////

void startEnderecamentoSensoresTemperatura(int _pinClock);void
printAddress(DeviceAddress deviceAddress);
void printTemperature(DeviceAddress deviceAddress);void
printResolution(DeviceAddress deviceAddress); void
printData(DeviceAddress deviceAddress);

////////////////////////////////////
// SETUP - INITIAL CONFIGURATIONS
////////////////////////////////////

void setup()
{
    pinMode(5, OUTPUT); //rev10.0_teste pinMode(pinEnableMultiespectral1,
OUTPUT); //rev10.0_1103pinMode(pinEnableMultiespectral2, OUTPUT);
//rev10.0_1103

    pinMode(pinChlorophyllExcitation, OUTPUT);
    pinMode(pinCDOMExcitation, OUTPUT);
    pinMode(pinTurbidityExcitation, OUTPUT);
    pinMode(pinDisolvedOxygenExcitation, OUTPUT);

    digitalWrite(ONE_WIRE_BUS, HIGH);
    digitalWrite(pinClock, HIGH);
    digitalWrite(pinReset, HIGH);
    digitalWrite(pinLEDoperacaoTemp, HIGH);

    digitalWrite(pinChlorophyllExcitation, LOW);
    digitalWrite(pinCDOMExcitation, LOW);
    digitalWrite(pinDisolvedOxygenExcitation, LOW);
    digitalWrite(pinTurbidityExcitation, LOW);

    digitalWrite(pinEnableMultiespectral1, LOW); //rev10.0_1103
    digitalWrite(pinEnableMultiespectral2, LOW); //rev10.0_1103
}

```

```

//rev06.3
if (HAB_CALIBRACAO_TEMP)
{
    config_habSondaTempMultiprofundidades = true;
    config_habSondaClha = false; config_habSondaCDOM =
    false; config_habSondaTurbidez = false;
    config_habSondaOD = false;
}

//Configuracoes da porta Serial
////////////////////////////////////
Serial.begin(9600); delay(1000);
if (HAB_TEST)
{
    Serial.println("=====");
    Serial.println("==          Sonda Multiparametros          ==");
    Serial.println("=====");
    Serial.println("");
}

//Configuracoes de comunicacao
////////////////////////////////////

sensors.begin(); //barramento OneWire dos sensores de temperatura
//Wire.begin(D1, D2); // Initiate the Wire library and join the I2C bus as a master or slaveWire.begin();
//barramento i2c dos sensores multiespectrais

//rev10.0_temp-webConnectionStart(); //rev08.2
sensorTempMultiParam.begin();

//CONFIGURACOES DO DISPLAY NEXTION - REV03.0
////////////////////////////////////if
(!HAB_TEST)
    nexInit(); //inicializa a comunicacao com o nextion - REV03.0

//Pages
pageIndex.attachPop(pageIndexPopCallback, &pageIndex); pageMenu.attachPop(pageMenuPopCallback,
&pageMenu); pageTemperatura.attachPop(pageTemperaturaPopCallback, &pageTemperatura);
pageCalibraClha.attachPop(pageCalibraClhaPopCallback, &pageCalibraClha);
pageCalibraTurb.attachPop(pageCalibraTurbPopCallback, &pageCalibraTurb);
pageCalibraCdom.attachPop(pageCalibraCdomPopCallback, &pageCalibraCdom);
pageCalibraOD.attachPop(pageCalibraODPopCallback, &pageCalibraOD);
pageConfigClha.attachPop(pageConfigClhaPopCallbak, &pageConfigClha);
pageConfigTurb.attachPop(pageConfigTurbidezPopCallback, &pageConfigTurb);
pageConfigCdom.attachPop(pageConfigCdomPopCallback, &pageConfigCdom);
pageConfigOD.attachPop(pageConfigODPopCallback, &pageConfigOD);
pageOperacao.attachPop(pageOperacaoPopCallback, &pageOperacao);
pageConfig01.attachPop(pageConfig01PopCallback, &pageConfig01); //rev03.A

//Objetos - Page Config 05 Mult
displayChkboxClha.attachPop(displayChkboxPopCallback, &displayChkboxClha); //rev03.A
displayChkboxCDOM.attachPop(displayChkboxPopCallback, &displayChkboxCDOM); //rev03.A

```







```

    delay(100); //delay de execucao do firmware
    digitalWrite(pinTurbidityExcitation, HIGH); //TGX13
}

////////////////////////////////////
// METODOS DE LEITURA DOS SENSORES MULTIESPECTRAIS
////////////////////////////////////

void readChlorophyll()
{
    //Seleciona o sensor multiespectral da sonda multiparametros (clh-a, CDOM e Turbidez)
    digitalWrite(pinEnableMultiespectral1, HIGH);           //rev10.0_1103
    digitalWrite(pinEnableMultiespectral2, LOW);           //rev10.0_1103
    //delay(1000); //rev10.0_1103

    //Acender o led da turbidez
    digitalWrite(pinChlorophyllExcitation, HIGH);
    delay(DELAY_READING_CLHA);

    //Inicia a comunicacao i2c
    Wire.begin(); //rev10.0_1103

    //Seleciona o ganho e os parametros do tempo de integração
    clha_ETIME = config_clhaETIME;
    clha_ETIME_MSB = config_clhaETIME / 0xFF;
    clha_ETIME_LSB = config_clhaETIME % 0xFE; switch
    (config_clhaGanho)
    {
        case 1:
            clha_GAIN = 0x01;
            break;
        case 2:
            clha_GAIN = 0x02;
            break;
        case 4:
            clha_GAIN = 0x03;
            break;
        case 8:
            clha_GAIN = 0x04;
            break;
        case 16:
            clha_GAIN = 0x05;
            break;
        case 32:
            clha_GAIN = 0x06;
            break;
        case 64:
            clha_GAIN = 0x07;
            break;
        case 128:
            clha_GAIN = 0x08;
            break;
        case 256:
            clha_GAIN = 0x09;
            break;
        case 512:
            clha_GAIN = 0x0A;
            break;
        default:
            clha_GAIN = 0x09;
            break;
    }

    //rev10.0_temp
    if (HAB_TEST)
    {
        Serial.println("");
        for (int i = 0; i < 20; i++)
        {
            Serial.print(numeroDeLeiturasRealizadasClha++);
            Serial.print("\t");
            readSpectrum(auxSpectrum);
        }
    }
}

```

```
        for (int c = 0; c < 10; c++)
        {
            Serial.print(auxSpectrum[c]);
            Serial.print("\t");
        }
        readTempProbeMultiParam();
        Serial.println("");
    }
}

//Apaga o LED
digitalWrite(pinChlorophyllExcitation, LOW);
delay(config_clhaIntervalo); //rev03.8
delay(1);

//rev03.8 - chlorophyllLastMeasurement = chlorophyllSpectrumLastMeasurement[7]; //rev03.6if (HAB_TEST

&& 0) //rev10.0_temp - removido temporariamente
{
    Serial.println("= Medida de clh-a =");
    Serial.print("Sensor F1 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[0]);
    Serial.print("Sensor F2 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[1]);
    Serial.print("Sensor F3 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[2]);
    Serial.print("Sensor F4 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[3]);
    Serial.print("Sensor F5 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[4]);
    Serial.print("Sensor F6 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[5]);
    Serial.print("Sensor F7 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[6]);
    Serial.print("Sensor F8 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[7]);
    Serial.print("Sensor NIR = ");
    Serial.println(auxSpectrum[8]); //coloquei em tela para testar
    Serial.print("Sensor Clear = "); Serial.println(auxSpectrum[9]);
    Serial.println("");
    //rev03.8
    Serial.print("Valor Medido: ");
    Serial.print(chlorophyllLastMeasurement);
    Serial.print(" (I.L.) = ");
    Serial.print(linearizadorChlorophyll.Output(chlorophyllLastMeasurement));
    Serial.println(" (ug/L)");
    Serial.println("");
}
}

////////////////////////////////////

void readCDOM() //rev03.2
{
    //Seleciona o sensor multiespectral da sonda multiparametros (clh-a, CDOM e Turbidez)
    digitalWrite(pinEnableMultiespectral1, HIGH);
    digitalWrite(pinEnableMultiespectral2, LOW);

    //Acender o led da turbidez
    digitalWrite(pinCDOMExcitation, HIGH);
    delay(DELAY_READING_CDOM);

    //Inicia a comunicacao i2c
    Wire.begin();

    //Seleciona o ganho e os parametros do tempo de integração
    clha_ATIME = config_cdomATIME;
    clha_ASTEP_MSB = config_cdomASTEP / 0xFF;
    clha_ASTEP_LSB = config_cdomASTEP % 0xFE; switch
    (config_cdomGanho)
    {
        case 1:
            clha_GAIN = 0x01;
    }
}
```

```

        break;
    case 2:
        clha_GAIN = 0x02;
        break;
    case 4:
        clha_GAIN = 0x03;
        break;
    case 8:
        clha_GAIN = 0x04;
        break;
    case 16:
        clha_GAIN = 0x05;
        break;
    case 32:
        clha_GAIN = 0x06;
        break;
    case 64:
        clha_GAIN = 0x07;
        break;
    case 128:
        clha_GAIN = 0x08;
        break;
    case 256:
        clha_GAIN = 0x09;
        break;
    case 512:
        clha_GAIN = 0x0A;
        break;
    default:
        clha_GAIN = 0x09;
        break;
}

//rev10.0_temp
if (HAB_TEST)
{
    Serial.println("");
    for (int i = 0; i < 20; i++)
    {
        Serial.print(numeroDeLeiturasRealizadasCDOM++);
        Serial.print("\t");
        readSpectrum(auxSpectrum); for
        (int c = 0; c < 10; c++)
        {
            Serial.print(auxSpectrum[c]);
            Serial.print("\t");
        }
        readTempProbeMultiParam();
        Serial.println("");
    }
}

//rev03.8 - readSpectrum(cdomSpectrumLastMeasurement);
//Apaga o LED digitalWrite(pinCDOMExcitation,
LOW); delay(config_cdomIntervalo); //rev03.8
delay(1);

if (HAB_TEST && 0) //rev10.0_temp - removido temporariamente para testes
{
    Serial.println("= Medida de CDOM =");
    Serial.print("Sensor F1 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[0]);
    Serial.print("Sensor F2 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[1]);
    Serial.print("Sensor F3 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[2]);
    Serial.print("Sensor F4 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[3]);
    Serial.print("Sensor F5 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[4]);
    Serial.print("Sensor F6 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[5]);
}

```

```

Serial.print("Sensor F7 = ");
Serial.println(auxSpectrum[6]);
Serial.print("Sensor F8 = ");
Serial.println(auxSpectrum[7]);
Serial.print("Sensor NIR = ");
Serial.println(auxSpectrum[8]); //coloquei em tela para testar
Serial.print("Sensor Clear = "); Serial.println(auxSpectrum[9]);
Serial.println("");
Serial.println("");
//rev03.8
Serial.print("Valor Medido: ");
Serial.print(cdomLastMeasurement);
Serial.print(" (I.L.) = ");
Serial.print(linearizadorCDOM.Output(cdomLastMeasurement));
Serial.println(" (ug/L)");
Serial.println("");
}
}

////////////////////////////////////

void readTurbidez() //rev03.2
{
//Seleciona o sensor multiespectral da sonda multiparametros (clh-a, CDOM e Turbidez)
digitalWrite(pinEnableMultiespectral1, HIGH);
digitalWrite(pinEnableMultiespectral2, LOW);

//Acender o led da turbidez
digitalWrite(pinTurbidityExcitation, HIGH);
delay(DELAY_READING_TURBIDITY);

//Inicia a comunicacao i2c
Wire.begin();

//Seleciona o ganho e os parametros do tempo de integraçao
clha_ATIME = config_turbidezATIME;
clha_ASTEP_MSB = config_turbidezASTEP / 0xFF;
clha_ASTEP_LSB = config_turbidezASTEP % 0xFE; switch
(config_turbidezGanho)
{
case 1:
    clha_GAIN = 0x01;
    break;
case 2:
    clha_GAIN = 0x02;
    break;
case 4:
    clha_GAIN = 0x03;
    break;
case 8:
    clha_GAIN = 0x04;
    break;
case 16:
    clha_GAIN = 0x05;
    break;
case 32:
    clha_GAIN = 0x06;
    break;
case 64:
    clha_GAIN = 0x07;
    break;
case 128:
    clha_GAIN = 0x08;
    break;
case 256:
    clha_GAIN = 0x09;
    break;
case 512:
    clha_GAIN = 0x0A;
    break;
default:
    clha_GAIN = 0x09;
    break;
}
}

```

```

}
if (HAB_TEST)
{
  Serial.println("");
  for (int i = 0; i < 20; i++)
  {
    Serial.print(numeroDeLeiturasRealizadasTurbidez++);
    Serial.print("\t");
    readSpectrum(auxSpectrum); for
    (int c = 0; c < 10; c++)
    {
      Serial.print(auxSpectrum[c]);
      Serial.print("\t");
    }
    readTempProbeMultiParam();
    Serial.println("");
  }
}

//Apaga o LED da turbidez
digitalWrite(pinTurbidityExcitation, LOW);
delay(config_turbidezIntervalo); //rev03.8
delay(1);

if (HAB_TEST && 0 ) //rev10.0_temp - &&0 foi pra tirar nos testes
{
  Serial.println("= Medida de Turbidez =");
  Serial.print("Sensor F1 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[0]);
  Serial.print("Sensor F2 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[1]);
  Serial.print("Sensor F3 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[2]);
  Serial.print("Sensor F4 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[3]);
  Serial.print("Sensor F5 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[4]);
  Serial.print("Sensor F6 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[5]);
  Serial.print("Sensor F7 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[6]);
  Serial.print("Sensor F8 = ");
  Serial.println(auxSpectrum[7]);
  Serial.print("Sensor NIR = ");
  Serial.println(auxSpectrum[8]); //coloquei em tela para testar
  Serial.print("Sensor Clear = "); Serial.println(auxSpectrum[9]);
  Serial.println("");
  //rev03.8
  Serial.print("Valor Medido: ");
  Serial.print(turbidityLastMeasurement);
  Serial.print(" (I.L.) = ");
  Serial.print(linearizadorTurbidity.Output(turbidityLastMeasurement));
  Serial.println(" (NTU)");
  Serial.println("");
}
}

///////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void readOD() //rev03.2
{
  //Seleciona o sensor multiespectral da sonda multiparametros (clh-a, CDOM e Turbidez)
  digitalWrite(pinEnableMultispectral1, LOW); //rev10.0_1103
  digitalWrite(pinEnableMultispectral2, HIGH); //rev10.0_1103

  //Acender o led da turbidez
  digitalWrite(pinDisolvedOxygenExcitation, HIGH);
  delay(DELAY_READING_OD);

  //Inicia a comunicacao i2c
  Wire.begin(); //rev10.0_1103
}

```

```
//Seleciona o ganho e os parametros do tempo de integração - rev08.1
clha_ATIME = config_oxigenioDissolvidoATIME;
clha_ASTEP_MSB = config_oxigenioDissolvidoASTEP / 0xFF;
clha_ASTEP_LSB = config_oxigenioDissolvidoASTEP % 0xFE; switch
(config_oxigenioDissolvidoGanho)
{
  case 1:
    clha_GAIN = 0x01;
    break;
  case 2:
    clha_GAIN = 0x02;
    break;
  case 4:
    clha_GAIN = 0x03;
    break;
  case 8:
    clha_GAIN = 0x04;
    break;
  case 16:
    clha_GAIN = 0x05;
    break;
  case 32:
    clha_GAIN = 0x06;
    break;
  case 64:
    clha_GAIN = 0x07;
    break;
  case 128:
    clha_GAIN = 0x08;
    break;
  case 256:
    clha_GAIN = 0x09;
    break;
  case 512:
    clha_GAIN = 0x0A;
    break;
  default:
    clha_GAIN = 0x09;
    break;
}
```



```

if (indiceLeituraOD < config_oxigenioDissolvidoQtdeLeituras) //rev08.1
    indiceLeituraOD++;

    //Faz a leitura do sensor multiespectral
    readSpectrum(auxSpectrum);
    for (int c = 0; c < 10; c++)
        dissolvedOxygenSpectrumLastMeasurement[c] += auxSpectrum[c]; // config_turbidezQtdeLeituras;

if (indiceLeituraOD == config_oxigenioDissolvidoQtdeLeituras) //rev08.1
{
    dissolvedOxygenLastMeasurement
(float)linearizadorDissolvedOxygen.Output(dissolvedOxygenSpectrumLastMeasurement[8]/config_oxigenioDiss
olvidoQtdeLeituras); //rev03.8
    indiceLeituraOD = 0;

    for (int c = 0; c < 10; c++)
        dissolvedOxygenSpectrumLastMeasurement[c] = 0;
}

//rev03.8 - readSpectrum(dissolvedOxygenSpectrumLastMeasurement);
//Apaga o LED da turbidez
digitalWrite(pinDisolvedOxygenExcitation, LOW);
delay(config_clhaIntervalo); //rev03.8
delay(1);

if (HAB_TEST)
{
    Serial.println("= Medida de OD ");
    Serial.print("Sensor F1 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[0]);
    Serial.print("Sensor F2 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[1]);

    Serial.print("Sensor F3 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[2]);
    Serial.print("Sensor F4 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[3]);
    Serial.print("Sensor F5 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[4]);
    Serial.print("Sensor F6 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[5]);
    Serial.print("Sensor F7 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[6]);
    Serial.print("Sensor F8 = ");
    Serial.println(auxSpectrum[7]);
    Serial.print("Sensor NIR = ");
    Serial.println(auxSpectrum[8]); //coloquei em tela para testar
    Serial.print("Sensor Clear = "); Serial.println(auxSpectrum[9]);
    Serial.println("");
    //rev03.8
    Serial.print("Valor Medido: ");
    Serial.print(dissolvedOxygenLastMeasurement);
    Serial.print(" (I.L.) = ");
    Serial.print(linearizadorDissolvedOxygen.Output(dissolvedOxygenLastMeasurement));
    Serial.println(" (ug/L)");
    Serial.println("");
}
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
void readTemperature() //rev03.2
{
    if (HAB_CALIBRACAO_TEMP) //rev06.3
    {
        Serial.print(contadorLeiturasTemperatura);
        Serial.print("\t");
    }

    //if (HAB_TEST)
    if (HAB_TEST &&! HAB_CALIBRACAO_TEMP) //rev06.3
    {
        Serial.println("");
        Serial.println(".....");
        Serial.println(" Leitura dos Sensores de temperatura: "); Serial.println("
        .....");
        Serial.println("");
    }

    sensors.requestTemperatures();

    for (int i = 0; i < MAX_TEMPERATURE_SENSORS; i++)
    {
        float temp = sensors.getTempC(enderecos[i]);
        tempProbe[i] = temp;

        //if (HAB_TEST)
        if (HAB_TEST &&! HAB_CALIBRACAO_TEMP) //rev06.3
        {
            Serial.print("Sensor ");
            Serial.print(i);

```

```

        Serial.print(" ");
        Serial.print(temp);
        Serial.println("°C");
    }

    if (HAB_CALIBRACAO_TEMP) //rev06.3
    {
        Serial.print(temp);
        Serial.print("\t");
    }
}

//if (HAB_TEST)
if (HAB_TEST &&! HAB_CALIBRACAO_TEMP) //rev06.3
{
    Serial.println(" .....");
    Serial.println("");
}

if (HAB_CALIBRACAO_TEMP) //rev06.3
{
    contadorLeiturasTemperatura++;
    Serial.println();
    delay(100); // 100 ms
}
}

////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////
// IHM - METODOS RELACIONADOS AO DISPLAY - REV03.0
////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////////

void ihm() //rev03.0
{
    nexLoop(nex_listen_list); //essa função trabalha como um listener para os eventos de press erelease dos
    objetos utilizados no NEXTION

    if (config_habSondaTempMultiprofundidades)
        updateTempInfo();

    updateClhaInfo();

    updateCDOMInfo();

    updateTurbidezInfo();

    updateODInfo();
}

void updateTempInfo()
{
    if (currentPage == INDEX_PAGE_TEMPERATURA)
    {
        char buff[10]; dtostrf(tempProbe[0], 4,
        2, buff);
        displayLeituraTemperatura0.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[1], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura1.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[2], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura2.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[3], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura3.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[4], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura4.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[5], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura5.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[6], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura6.setText(buff);
        dtostrf(tempProbe[7], 4, 2, buff);
        displayLeituraTemperatura7.setText(buff);
    }
}

void updateClhaInfo()
{
    char buff[20]; //rev03.7

    switch (currentPage)
    {
        case INDEX_PAGE_OPERACAO:
            //rev03.C - dtostrf(chlorophyllLastMeasurement, 4, 4, buff);
            //rev03.C - displayLeituraClha.setText(buff);if
            (config_habSondaClha) //rev03.C
            dtostrf(chlorophyllLastMeasurement, 4, 2, buff);else
            strcpy(buff, "--");
            displayLeituraClha.setText(buff);
            break;
        default:
            break;
    }
}

void updateCDOMInfo()

```



```

config_clhaX4 = auxNumerica;
displayX5clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaX5 = auxNumerica;
displayX6clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaX6 = auxNumerica;
displayX7clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaX7 = auxNumerica;
displayX8clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaX8 = auxNumerica;
displayX9clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaX9 = auxNumerica;

displayY0clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY0 = auxNumerica;
displayY1clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY1 = auxNumerica;
displayY2clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY2 = auxNumerica;
displayY3clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY3 = auxNumerica;
displayY4clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY4 = auxNumerica;
displayY5clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY5 = auxNumerica;
displayY6clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY6 = auxNumerica;
displayY7clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY7 = auxNumerica;
displayY8clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY8 = auxNumerica;
displayY9clha.getValue(&auxNumerica);
config_clhaY9 = auxNumerica;

linearizadorChlorophyll.Reconfigura(
    config_clhaX0, config_clhaX1, config_clhaX2, config_clhaX3, config_clhaX4, config_clhaX5,
    config_clhaX6, config_clhaX7, config_clhaX8, config_clhaX9,
    config_clhaY0, config_clhaY1, config_clhaY2, config_clhaY3, config_clhaY4, config_clhaY5,
    config_clhaY6, config_clhaY7, config_clhaY8, config_clhaY9);
}

void pageCalibraCdomPopCallback(void *ptr)
{
    currentPage = INDEX_PAGE_CALIBRA_CDOM;

    //rev03.8 - bloco de linearização inserido
    uint32_t auxNumerica;
    displayX0cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX0 = auxNumerica;
    displayX1cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX1 = auxNumerica;
    displayX2cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX2 = auxNumerica;
    displayX3cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX3 = auxNumerica;
    displayX4cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX4 = auxNumerica;
    displayX5cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX5 = auxNumerica;
    displayX6cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX6 = auxNumerica;
    displayX7cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX7 = auxNumerica;
    displayX8cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX8 = auxNumerica;
    displayX9cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomX9 = auxNumerica;

    displayY0cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY0 = auxNumerica;
    displayY1cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY1 = auxNumerica;
    displayY2cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY2 = auxNumerica;
    displayY3cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY3 = auxNumerica;
    displayY4cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY4 = auxNumerica;
    displayY5cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY5 = auxNumerica;
    displayY6cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY6 = auxNumerica;
    displayY7cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY7 = auxNumerica;
    displayY8cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY8 = auxNumerica;
    displayY9cdom.getValue(&auxNumerica);
    config_cdomY9 = auxNumerica;

    linearizadorCDOM.Reconfigura(
        config_cdomX0, config_cdomX1, config_cdomX2, config_cdomX3, config_cdomX4, config_cdomX5,
        config_cdomX6, config_cdomX7, config_cdomX8, config_cdomX9,
        config_cdomY0, config_cdomY1, config_cdomY2, config_cdomY3, config_cdomY4, config_cdomY5,
        config_cdomY6, config_cdomY7, config_cdomY8, config_cdomY9);
}

```

```

void pageCalibraTurbPopCallback(void *ptr)
{
    currentPage = INDEX_PAGE_CALIBRA_TURB;
    currentPage = INDEX_PAGE_CALIBRA_CLHA;

    //rev03.8 - bloco de linearização inserido
    uint32_t auxNumerica;
    displayX0turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX0 = auxNumerica;
    displayX1turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX1 = auxNumerica;
    displayX2turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX2 = auxNumerica;
    displayX3turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX3 = auxNumerica;
    displayX4turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX4 = auxNumerica;
    displayX5turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX5 = auxNumerica;
    displayX6turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX6 = auxNumerica;
    displayX7turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX7 = auxNumerica;
    displayX8turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX8 = auxNumerica;
    displayX9turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezX9 = auxNumerica;

    displayY0turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY0 = auxNumerica;
    displayY1turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY1 = auxNumerica;
    displayY2turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY2 = auxNumerica;
    displayY3turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY3 = auxNumerica;
    displayY4turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY4 = auxNumerica;
    displayY5turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY5 = auxNumerica;
    displayY6turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY6 = auxNumerica;
    displayY7turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY7 = auxNumerica;
    displayY8turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY8 = auxNumerica;
    displayY9turbidez.getValue(&auxNumerica);
    config_turbidezY9 = auxNumerica;

    linearizadorTurbidity.Reconfigura(
        config_turbidezX0, config_turbidezX1, config_turbidezX2, config_turbidezX3, config_turbidezX4,
        config_turbidezX5, config_turbidezX6, config_turbidezX7, config_turbidezX8, config_turbidezX9,
        config_turbidezY0, config_turbidezY1, config_turbidezY2, config_turbidezY3, config_turbidezY4,
        config_turbidezY5, config_turbidezY6, config_turbidezY7, config_turbidezY8, config_turbidezY9);
}

void pageCalibraODPopCallback(void *ptr)
{
    currentPage = INDEX_PAGE_CALIBRA_OD;

    //rev03.8 - bloco de linearização inserido uint32_t
    auxNumerica;
    displayX0oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX0 = auxNumerica;
    displayX1oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX1 = auxNumerica;
    displayX2oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX2 = auxNumerica;
    displayX3oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX3 = auxNumerica;
    displayX4oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX4 = auxNumerica;
    displayX5oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX5 = auxNumerica;
    displayX6oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX6 = auxNumerica;
    displayX7oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX7 = auxNumerica;
    displayX8oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX8 = auxNumerica;
    displayX9oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoX9 = auxNumerica;

    displayY0oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoY0 = auxNumerica;
    displayY1oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoY1 = auxNumerica;
    displayY2oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoY2 = auxNumerica;
    displayY3oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoY3 = auxNumerica;
    displayY4oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
    config_oxigenioDissolvidoY4 = auxNumerica;
}

```

```

displayY5oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
config_oxigenioDissolvidoY5 = auxNumerica;
displayY6oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
config_oxigenioDissolvidoY6 = auxNumerica;
displayY7oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
config_oxigenioDissolvidoY7 = auxNumerica;
displayY8oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
config_oxigenioDissolvidoY8 = auxNumerica;
displayY9oxigenioDissolvido.getValue(&auxNumerica);
config_oxigenioDissolvidoY9 = auxNumerica;

linearizadorDissolvedOxygen.Reconfigura(
    config_oxigenioDissolvidoX0,          config_oxigenioDissolvidoX1,          config_oxigenioDissolvidoX2,
config_oxigenioDissolvidoX3, config_oxigenioDissolvidoX4, config_oxigenioDissolvidoX5, config_oxigenioDissolvidoX6,
config_oxigenioDissolvidoX7, config_oxigenioDissolvidoX8, config_oxigenioDissolvidoX9, config_oxigenioDissolvidoX0,
    config_oxigenioDissolvidoY0,          config_oxigenioDissolvidoY1,          config_oxigenioDissolvidoY2,
config_oxigenioDissolvidoY3, config_oxigenioDissolvidoY4, config_oxigenioDissolvidoY5, config_oxigenioDissolvidoY6,
config_oxigenioDissolvidoY7, config_oxigenioDissolvidoY8, config_oxigenioDissolvidoY9);
}

void pageConfigClhaPopCallbak(void *ptr)
{
    currentPage = INDEX_PAGE_CONFIG_CLHA;

    uint32_t auxNumerica;
    if (displayGanhoClha.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 256)
            auxNumerica = 512;
        else if (auxNumerica > 128)
            auxNumerica = 256;
        else if (auxNumerica > 64)
            auxNumerica = 128;
        else if (auxNumerica > 32)
            auxNumerica = 64;
        else if (auxNumerica > 16)
            auxNumerica = 32;
        else if (auxNumerica > 8)
            auxNumerica = 16;
        else if (auxNumerica > 4)
            auxNumerica = 8;
        else if (auxNumerica > 2)
            auxNumerica = 4;
        else if (auxNumerica > 1)
            auxNumerica = 2;
        else
            auxNumerica = 1;

        config_clhaGanho = auxNumerica;
        displayGanhoClha.setValue(auxNumerica);
    }

    if (displayATIMEClha.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 255)
        {
            auxNumerica = 255;
            displayATIMEClha.setValue(255);
        }
        config_clhaATIME = auxNumerica;
    }

    if (displayASTEPClha.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 65534)
        {
            auxNumerica = 65534;
            displayASTEPClha.setValue(65534);
        }
        config_clhaASTEP = auxNumerica;
    }

    if (displayQtdeLeiturasClha.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 2000)
        {
            auxNumerica = 2000;
            displayQtdeLeiturasClha.setValue(2000);
        }
        config_clhaQtdeLeituras = auxNumerica;
    }

    if (displayIntervaloClha.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 5000)
        {
            auxNumerica = 5000;
            displayIntervaloClha.setValue(5000);
        }
        config_clhaIntervalo = auxNumerica;
    }

    double tempoIntegracaoCalculado = ((double)config_clhaATIME + 1);

```

```

tempoIntegracaoCalculado *= ((double)config_clhaASTEP + 1);
tempoIntegracaoCalculado *= 0.00278;
int adcFullScaleValueCalculado = (config_clhaATIME + 1) * (config_clhaASTEP + 1); adcFullScaleValueCalculado =
    (adcFullScaleValueCalculado > 65535) ? 65535 :
adcFullScaleValueCalculado;

char buff[10]; dtostrf(tempoIntegracaoCalculado, 4,
2, buff);displayTempIntegracaoClha.setText(buff);

char adcValueString[8]; itoa(adcFullScaleValueCalculado,
adcValueString, 8);
displayADCFullScaleClha.setValue(adcFullScaleValueCalculado);
}

void pageConfigTurbidezPopCallback(void *ptr)
{
currentPage = INDEX_PAGE_CONFIG_TURB;

//rev03.4 - tudo abaixo

uint32_t auxNumerica;
if (displayGanhoTurbidez.getValue(&auxNumerica))
{
if (auxNumerica > 256)
auxNumerica = 512;
else if (auxNumerica > 128)
auxNumerica = 256;
else if (auxNumerica > 64)
auxNumerica = 128;
else if (auxNumerica > 32)
auxNumerica = 64;
else if (auxNumerica > 16)
auxNumerica = 32;
else if (auxNumerica > 8)
auxNumerica = 16;
else if (auxNumerica > 4)
auxNumerica = 8;
else if (auxNumerica > 2)
auxNumerica = 4;
else if (auxNumerica > 1)
auxNumerica = 2;
else
auxNumerica = 1;

config_turbidezGanho = auxNumerica;
displayGanhoTurbidez.setValue(auxNumerica);
}

if (displayATIMEturbidez.getValue(&auxNumerica))
{
if (auxNumerica > 255)
{
auxNumerica = 255;
displayATIMEturbidez.setValue(255);
}
config_turbidezATIME = auxNumerica;
}

if (displayASTEPturbidez.getValue(&auxNumerica))
{
if (auxNumerica > 65534)
{
auxNumerica = 65534;
displayASTEPturbidez.setValue(65534);
}
config_turbidezASTEP = auxNumerica;
}

if (displayQtdeLeiturasTurbidez.getValue(&auxNumerica))
{
if (auxNumerica > 2000)
{
auxNumerica = 2000;
displayQtdeLeiturasTurbidez.setValue(2000);
}
config_turbidezQtdeLeituras = auxNumerica;
}

if (displayIntervaloTurbidez.getValue(&auxNumerica))
{
if (auxNumerica > 5000)
{
auxNumerica = 5000;
displayIntervaloTurbidez.setValue(5000);
}
config_turbidezIntervalo = auxNumerica;
}

double tempoIntegracaoCalculado = ((double)config_turbidezATIME + 1);
tempoIntegracaoCalculado *= ((double)config_turbidezASTEP + 1);
tempoIntegracaoCalculado *= 0.00278;
int adcFullScaleValueCalculado = (config_turbidezATIME + 1) * (config_turbidezASTEP + 1);

```

```

        adcFullScaleValueCalculado = (adcFullScaleValueCalculado > 65535) ? 65535 :
        adcFullScaleValueCalculado;

        char buff[10]; dtostrf(tempoIntegracaoCalculado, 4,
        2, buff);
        displayTempIntegracaoTurbidez.setText(buff);

        char adcValueString[8]; itoa(adcFullScaleValueCalculado,
        adcValueString, 8);
        displayADCFullScaleTurbidez.setValue(adcFullScaleValueCalculado);
    }

void pageConfigCdomPopCallback(void *ptr)
{
    currentPage = INDEX_PAGE_CONFIG_CDOM;

    //rev03.4 - tudo abaixo

    uint32_t auxNumerica;
    if (displayGanhoCDOM.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 256)
            auxNumerica = 512;
        else if (auxNumerica > 128)
            auxNumerica = 256;
        else if (auxNumerica > 64)
            auxNumerica = 128;
        else if (auxNumerica > 32)
            auxNumerica = 64;
        else if (auxNumerica > 16)
            auxNumerica = 32;
        else if (auxNumerica > 8)
            auxNumerica = 16;
        else if (auxNumerica > 4)
            auxNumerica = 8;
        else if (auxNumerica > 2)
            auxNumerica = 4;
        else if (auxNumerica > 1)
            auxNumerica = 2;
        else
            auxNumerica = 1;

        config_cdomGanho = auxNumerica;
        displayGanhoCDOM.setValue(auxNumerica);
    }

    if (displayATIMECDOM.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 255)
        {
            auxNumerica = 255;
            displayATIMECDOM.setValue(255);
        }
        config_cdomATIME = auxNumerica;
    }

    if (displayASTEPCDOM.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 65534)
        {
            auxNumerica = 65534;
            displayASTEPCDOM.setValue(65534);
        }
        config_cdomASTEP = auxNumerica;
    }

    if (displayQtdeLeiturasCDOM.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 2000)
        {
            auxNumerica = 2000;
            displayQtdeLeiturasCDOM.setValue(2000);
        }
        config_cdomQtdeLeituras = auxNumerica;
    }

    if (displayIntervaloCDOM.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 5000)
        {
            auxNumerica = 5000;
            displayIntervaloCDOM.setValue(5000);
        }
        config_cdomIntervalo = auxNumerica;
    }
}

```



```

double tempoIntegracaoCalculado = ((double)config_cdomATIME + 1);
tempoIntegracaoCalculado *= ((double)config_cdomASTEP + 1);
tempoIntegracaoCalculado *= 0.00278;
int adcFullScaleValueCalculado = (config_cdomATIME + 1) * (config_cdomASTEP + 1); adcFullScaleValueCalculado =
      (adcFullScaleValueCalculado > 65535) ? 65535 :
adcFullScaleValueCalculado;

char buff[10]; dtostrf(tempoIntegracaoCalculado, 4,
2, buff);displayTempIntegracaoCDOM.setText(buff);

char adcValueString[8]; itoa(adcFullScaleValueCalculado,
adcValueString, 8);
displayADCFullScaleCDOM.setValue(adcFullScaleValueCalculado);
}

void pageConfigODPopCallback(void *ptr)
{
    currentPage = INDEX_PAGE_CONFIG_OD;

    //rev03.4 - tudo abaixo

    uint32_t auxNumerica;
    if (displayGanhoOD.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 256)
            auxNumerica = 512;
        else if (auxNumerica > 128)
            auxNumerica = 256;
        else if (auxNumerica > 64)
            auxNumerica = 128;
        else if (auxNumerica > 32)
            auxNumerica = 64;
        else if (auxNumerica > 16)
            auxNumerica = 32;
        else if (auxNumerica > 8)
            auxNumerica = 16;
        else if (auxNumerica > 4)
            auxNumerica = 8;
        else if (auxNumerica > 2)
            auxNumerica = 4;
        else if (auxNumerica > 1)
            auxNumerica = 2;
        else
            auxNumerica = 1;

        config_oxigenioDissolvidoGanho = auxNumerica;
        displayGanhoOD.setValue(auxNumerica);
    }

    if (displayATIMEOD.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 255)
        {
            auxNumerica = 255;
            displayATIMEOD.setValue(255);
        }
        config_oxigenioDissolvidoATIME = auxNumerica;
    }

    if (displayASTEPOD.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 65534)
        {
            auxNumerica = 65534;
            displayASTEPOD.setValue(65534);
        }
        config_oxigenioDissolvidoASTEP = auxNumerica;
    }

    if (displayQtdeLeiturasOD.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 2000)
        {
            auxNumerica = 2000;
            displayQtdeLeiturasOD.setValue(2000);
        }
        config_oxigenioDissolvidoQtdeLeituras = auxNumerica;
    }

    if (displayIntervaloOD.getValue(&auxNumerica))
    {
        if (auxNumerica > 5000)
        {
            auxNumerica = 5000;
            displayIntervaloOD.setValue(5000);
        }
        config_oxigenioDissolvidoIntervalo = auxNumerica;
    }

    double tempoIntegracaoCalculado = ((double)config_oxigenioDissolvidoATIME + 1);
    tempoIntegracaoCalculado *= ((double)config_oxigenioDissolvidoASTEP + 1);

```

