



CENTRAL DE CONTROLE DE SENSORES DE OXIGÊNIO DISSOLVIDO

Bárbara Coelho¹, Renan Augusto Starke²

Resumo: A aquicultura no Brasil é um mercado que nos últimos anos apresentou um grande crescimento e, observou-se que a tilápia é uma espécie relevante sendo um dos motivos do crescimento desse setor. A principal exigência do cultivo de peixes é a quantidade de oxigênio dissolvido na água. Com o controle adequado desse parâmetro, visa-se obter um aumento de produtividade, diminuição de riscos de perda, otimização do uso de energia e ração, proporcionando uma maior eficiência nas produções aquícolas. Assim, esse artigo tem o objetivo desenvolver ao setor um produto que tem como funcionalidade monitorar e controlar continuamente o nível de oxigênio dissolvido nos tanques de produção aquícola com a automatização do processo de acionamento dos aeradores e monitoramento remoto IoT.

Palavras-chave: central de controle, sensor de oxigênio dissolvido, comunicação de dados, acionamento, internet das coisas (IoT).

Abstract: *The aquaculture in Brazil is a market that has shown great growth in last years, it was observed that tilapia is the relevant species and one of the reasons for the growth of the aquaculture sector. The main requirement for fish cultivation is the amount of dissolved oxygen in the water. With the adequate control of this parameter, the aim is to obtain an increase in productivity, an optimization of the use of energy and feed and increase aquaculture production. Thus, this article aims to develop for the sector a product that has the functionality to continuously monitor and control the dissolved oxygen level in aquaculture production tanks activating the aerators and remote monitoring using IoT.*

Keywords: control center, dissolved oxygen sensor, data communication, triggering, internet of things (IoT).

¹ Especialista em Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, campus Florianópolis, IFSC <barbaracoelho1995@gmail.com>.

² Professor do Departamento Acadêmico de Eletrônica (DAELN), campus Florianópolis, IFSC <renan.starke@ifsc.edu.br>.

1 INTRODUÇÃO

Esse artigo apresenta o desenvolvimento de um sistema embarcado comercial que consiste em trazer para o setor de aquicultura, em especial o cultivo de camarões e peixes em cativeiro, um sistema automático de monitoramento, controle e acionamento de medidas preditivas, preventivas e emergenciais. Visa-se a capacidade de reduzir custos, aumentar produtividade, além de ter um monitoramento e rastreabilidade das variáveis para planejamento futuro da produção.

De acordo com Coddington e Green (1993), aplicando o controle da aeração em observou-se melhorias de 18% a 21% no crescimento, 3% a 5% na sobrevivência e de 21% a 25% na produção de tilápias em viveiros com aeração. Além de das melhorias em suas produções, os produtores poderão ter acesso remoto das informações obtidas pelo

sistema para a verificação das condições dos ambientes de produção. Esses dados também servirão como registro histórico para análises e planejamentos de produções futuras.

Segundo piscicultores e vendedores de produtos aquícolas de Santa Catarina, atualmente o controle de oxigênio dissolvido nos tanques de produção é realizado de modo manual ou com o auxílio de temporizadores (*timers*). Os aeradores são acionados, com base em bibliografias antigas, em determinados horários ao longo do dia.

A modelo de projeto utilizada como base no desenvolvimento deste trabalho é o modelo PRODIP (Processo de Desenvolvimento Integrado de Produtos). O modelo foi desenvolvido inicialmente pelo Núcleo de Desenvolvimento Integrado de Produto (NEDIP). Mais especificamente a etapa de projeção.

Este artigo está dividido da seguinte forma: apresenta-se o projeto informacional na Seção 2, a Seção 3 trata do projeto conceitual, o projeto preliminar do produto na Seção 4, o desenvolvimento do protótipo na Seção 5 e por fim na Seção 6 a conclusão.

2 PROJETO INFORMACIONAL

Nesta seção é definido o problema, em seguida é apresentada a definição do problema, a pesquisa de mercado, os concorrentes, os requisitos e restrições do projeto e por fim uma breve definição do produto.

2.1 Definição do problema

Na piscicultura são utilizados tanques para a produção de peixes, onde há a necessidade de se fazer a reposição de oxigênio. O oxigênio dissolvido na água, além de ser usado na respiração do peixe, também ajuda na decomposição dos materiais orgânicos (FIORUCCI, 2005) que estão presentes no tanque, como restos de alimentos e fezes do peixe. Para se realizar essa reposição de oxigênio são utilizados os aeradores nos tanques.

Segundo Kubitzka (2017), o oxigênio é essencial para a respiração dos peixes, quanto maior a concentração de oxigênio na água melhor será o processo de respiração. Essa concentração de oxigênio nos tanques de produção depende de diversos fatores como: temperatura, salinidade, fotossíntese, respiração dos peixes, altitude, pressão atmosférica, luminosidade, vento, chuva, biomassa estocada, taxa de alimentação, qualidade do alimento, etc. Essas características tornam cada tanque ou viveiro de cultivo único, tendo seu próprio regime e níveis de oxigênio que necessita de monitoramento individual.

A tilápia é a espécie de peixe em cultivo mais produzida no Brasil. Essa espécie é extremamente tolerante a baixas concentrações de oxigênio dissolvido, podendo suportar níveis próximo de zero

por horas sem morrer. Contudo, quando expostos a níveis baixos de oxigênio, eles apresentam prejuízo no crescimento e na conversão alimentar e, se expostos frequentemente, ficam mais susceptíveis a doenças.

2.2 Mercado

Segundo a Associação Brasileira de Piscicultura (Peixe BR). O mercado brasileiro de piscicultura gera cerca de 1 milhão de empregos diretos e indiretos e em 2018 produziu cerca de 772.560 toneladas de peixe. O Brasil é o quarto maior produtor mundial de tilápia, o que representa 55,4% da produção nacional de peixes de cultivo.

Com base nas informações fornecidas pelo Infoagro (2018), os dados são coletados anualmente pelos extensionistas da Epagri, os quais atuam nos 295 municípios do estado. Essas coletas de dados são realizadas pelos técnicos da Epagri, por meio de consultas aos produtores. Para os produtores de peixes, o levantamento de dados é separado em produtores profissionais e amadores. Os profissionais são os que produzem regularmente para meios comerciais, usando técnicas e equipamentos, com o intuito aumentar produtividade. E os amadores, os que produzem para autoabastecimento, lazer e vendas eventuais. Desse modo, os produtores comerciais são os potenciais usuários do sistema apresentado nesse artigo.

No site do Infoagro (2018) é apresentado um mapa interativo com os dados coletados pelos extensionistas da Epagri. Até o momento em que foi escrito esse artigo, a última atualização do site é do ano de 2018.

A Figura 1 apresenta um gráfico com a produção por espécie, onde a tilápia representa 75,98% e o gráfico de produção proveniente de produtores amadores e comerciais, sendo 29,96% amadores e 70,04% comerciais.

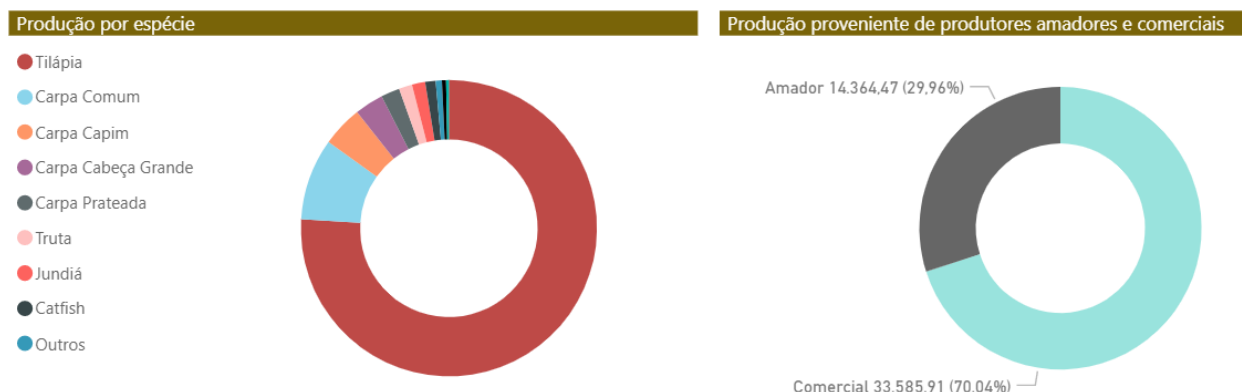


Figura 1 – Gráficos e tabelas de produção.

Fonte: Infoagro, 2018.

A Figura 2 apresenta o gráfico de evolução do número de produtores, comercial e amador, no estado de Santa Catarina. Para o ano de 2018, haviam 31.009 produtores amadores e 2.985 produtores

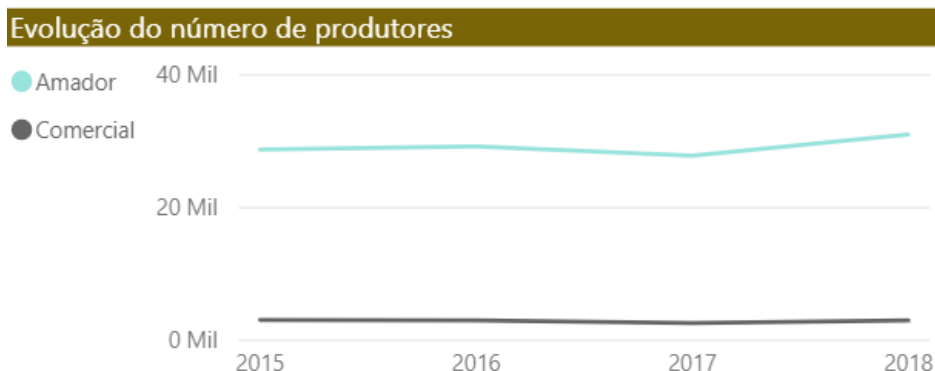


Figura 2 – Produtores de peixes.

Fonte: Infoagro, 2018.

2.3 Concorrentes

Ao realizar uma pesquisa sobre medidores de oxigênio dissolvido, a grande maioria dos produtos encontrados no mercado, são produtos portáteis que não fazem o monitoramento contínuo e nem o controle do sistema.

O concorrente que possui o produto mais semelhante ao desenvolvido neste trabalho é a empresa Acqua Nativa Monitoramento Ambiental. O produto desenvolvido é o AcquaLogger-TD (Figura 3), é um Controlador de Oxigênio Dissolvido para monitoramento de qualidade da água, controle e acionamento de dispositivos. O produto usa a sonda de oxigênio dissolvido eletroquímica da empresa AtlasScientific, com o custo para uma unidade de US\$ 218,00 dólares, valor obtido no site oficial da AtlasScientific no dia 14 de julho de 2020. Foi solicitado o orçamento, com a empresa Acqua Nativa, dos produtos Controlador de Oxigênio Dissolvido e do Eletrodo galvânico de Oxigênio Dissolvido e foi obtido os valores respectivos de R\$ 1.750,00 e R\$ 1.325,00.

Especificações do produto AcquaLogger-TD:

- Leituras de O.D. entre 0 e 100 mg/L com precisão de $\pm 0,05$ mg/L;
- Leituras de Temperatura entre -55 e 125°C com precisão de $0,1^{\circ}\text{C}$;
- 4 saídas digitais a relé;
- 4 entradas digitais;
- 2 saídas analógicas 0 a 10 V com 12 bit de resolução;
- 4 entradas analógicas 0 a 10 V com 12 bit de resolução;
- Display LCD Alfanumérico para visualização local;
- Memória não-volátil para armazenamento de até 1000 registros;

comerciais. Os produtores comerciais, mesmo representando apenas 8,8% do total de produtores, produzem 70,04% da produção de peixes no estado.

- Transmissão e Conectividade: EIA485 com protocolo Modbus RTU;
- Telemetria de dados via GPRS, Ethernet;
- Alimentação 24 Vcc (customizável para 110Vca ou 220Vca).

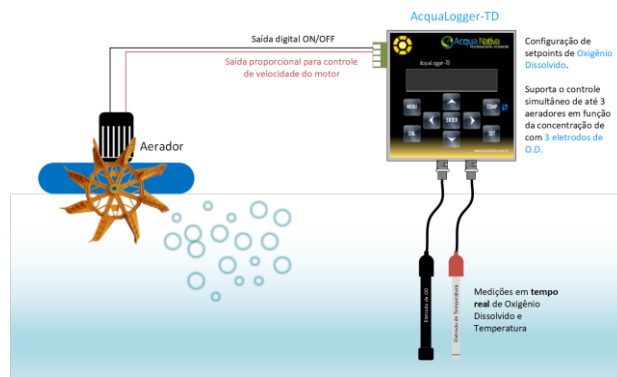


Figura 3 – Controlador AcquaLogger-TD.

Fonte: Acqua Nativa.

2.4 Requisitos e Restrições de Projeto

Os requisitos e as restrições do projeto consideraram as necessidades imediatas dos futuros usuários bem como especificações de sensores, interfaces de comunicação e custos. Tais requisitos e restrições são sintetizadas abaixo:

Requisitos:

- Entradas para comunicação com as sondas;
- Saídas de acionamento dos atuadores;
- Botões para entrada de dados, para a Interface Homem Máquina (IHM);
- Um display para a Interface Homem Máquina (IHM);
- Um conversor de tensão: para alimentar o sistema, de entrada 220Vac/60Hz;
- Conectividade para transmitir os dados para o servidor na nuvem;
- Bluetooth para conectar com os dispositivos móveis;

- Servidor broker, usado receber os dados transmitidos pelo produto;
- Aplicativo WIFI, para configurar WIFI;
- Aplicativo para configurar membrana, usado para configurar os parâmetros da sonda quando a membrana é trocada.

Restrições:

- Ter alto grau de proteção contra poeira e água;
- O projeto não deve ultrapassar o orçamento de produção de R\$ 400,00;
- O projeto do hardware deve ser executado paralelamente ao projeto de software.

2.5 O produto

O sistema embarcado consiste em uma central de controle de oxigênio dissolvido para tanques de produção aquícola. A central fará o monitoramento dos tanques usando sondas de oxigênio dissolvido e, com base nos parâmetros estabelecidos previamente pelo usuário, irá acionar os aeradores.

Este sistema deverá permitir a entrada de mais de uma sonda, as quais transmitirão os valores de temperatura e oxigênio dissolvido (OD) da água para a central, uma Interface Homem Máquina (IHM) e dependendo no nível de OD recebidos pela sonda, a central irá acionar os aeradores conforme ilustrado pela Figura 4.

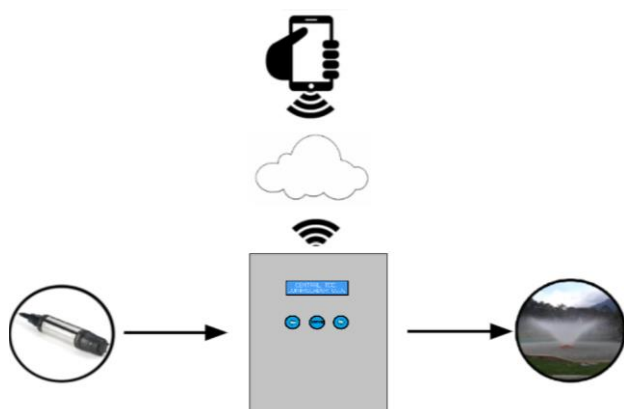


Figura 4 – Entradas e saídas do sistema.
Fonte: Autoria própria.

O cenário de aplicação onde esse sistema atuará é formado pelos tanques de produção de peixe. Esses tanques localizam-se em ambientes abertos e apresentam postes de energia do seu lado para alimentar os aeradores. O sistema ficará exposto às intempéries climáticas, como ilustrado pela Figura 5.



Figura 5 – Cenário de aplicação.
Fonte: Autoria própria.

3 PROJETO CONCEITUAL

No projeto conceitual, primeiramente foram determinadas as funções do produto, a matriz morfológica e o projeto arquitetural.

3.1 Funções do produto

Nesta seção é apresentada a função global e as subfunções. A função global é dividida em partes, criando as subfunções, dessa maneira cada uma dessas partes poderá ser resolvida separadamente simplificando o processo de solução do problema.

3.1.1 Função global

A função global de um sistema é o resumo da principal ação realizada. Neste caso, a função global é controlar oxigênio dissolvido e, para isso, é necessário receber os dados da sonda, os sinais vindos da interface do usuário e acionar os aeradores. Na Figura 6 é apresentado um resumo das entradas e saídas do sistema.

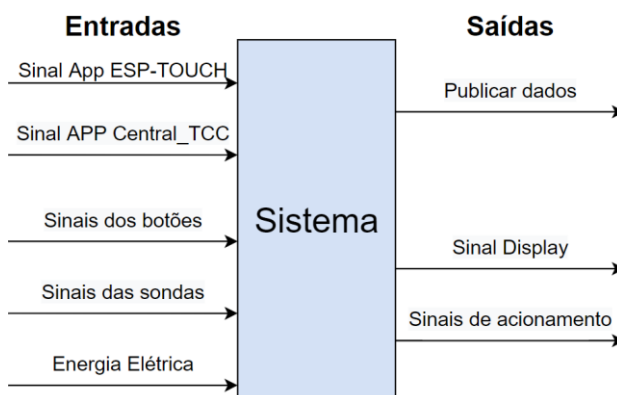


Figura 6 – Entradas e saídas do sistema.
Fonte: Autoria própria.

3.1.2 Subfunções do produto

Após ser estabelecida a função global do sistema, ela é dividida em subfunções com o intuito de facilitar a resolução do problema conforme a Figura 7. Para realizar o controle de oxigênio dissolvido, é necessário receber os dados fornecidos

pela sonda, fazer o acionamento dos aeradores, publicar os dados na nuvem e permitir a configuração através de uma interface homem e máquina (IHM).

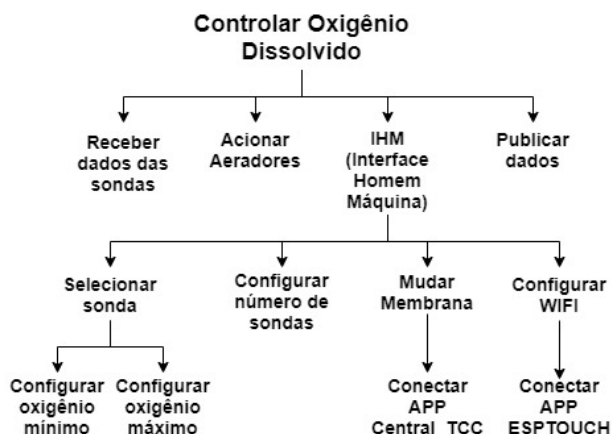


Figura 7 – Síntese de função do produto.
Fonte: Autoria própria.

3.2 Projeto Arquitetural

O sistema deve enviar dados para a nuvem através de um gateway WIFI e fazer a comunicação via *Bluetooth* com os aplicativos usados para a configuração. Para a interface homem-máquina, serão usados três botões (três pinos de entrada) e um display LCD 16x2 usando o protocolo de comunicação I2C. Para a comunicação com as sondas, será utilizado a comunicação RS-485 para leitura da temperatura e

oxigênio dissolvido na água, utilizando a interface UART do microcontrolador. Serão necessários quatro pinos de saída para enviar o sinal de acionamento dos aeradores. A Figura 8 ilustra a arquitetura interna indicando as principais características necessárias para o funcionamento da central.

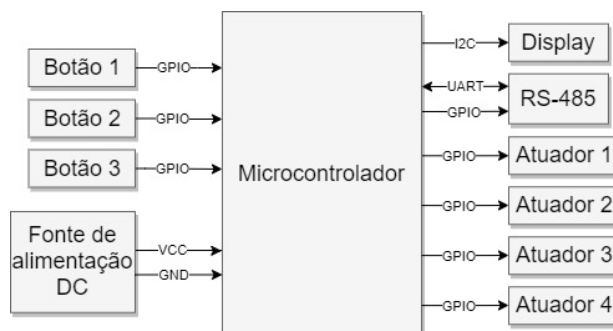


Figura 8 – Projeto arquitetural interno.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 9 ilustra o funcionamento completo do sistema. Há a central de controle de oxigênio dissolvido comunicando-se via *Bluetooth* com um *Smartphone* e uma infraestrutura WiFi que permite conexão com a Internet para publicação dos dados na nuvem.



Figura 9 – Representação o funcionamento completo do sistema.
Fonte: Autoria própria.

4 PROJETO PRELIMINAR

No projeto preliminar é apresentado o painel do produto, a matriz morfológica, a escolha dos componentes e o projeto da interface do produto.

4.1 Painel do produto

O painel semântico, também chamado *mood board* (em português significa “quadro de humor”), de uma forma abstrata reflete as emoções provocadas pelos produtos.

4.1.1 Painel do estilo de vida

Tem o objetivo de refletir a rotina e estilo de vida do usuário do produto. Na Figura 10 é apresentado o painel de estilo de vida do produto, inspirando no desenvolvimento de um produto simples e robusto. Os usuários deste produto serão piscicultores que irão ter o produto instalado e controlando o oxigênio dissolvido nos tanques de produção, permitindo com que eles não tenham que ficar verificando o oxigênio dissolvido diariamente nos tanques. Desse modo optou-se pela utilização de apenas três botões e um display na interface física do produto.



Figura 10 – Painel de estilo de vida.
Fonte: Autoria própria.

4.1.2 Painel das expressões do produto

Este painel tem o objetivo de definir uma expressão do produto, que representa a emoção transmitida ao usuário. Na Figura 11 é apresentado o painel das expressões do produto, que são definidas como: conectividade, segurança, automação, confiabilidade e integração. Inspirando a trazer traços azuis ao produto.



Figura 11 – Painel de expressões do produto.
Fonte: Autoria própria.

4.1.3 Painel do tema visual

A partir das expressões do produto definidas anteriormente (conectividade, segurança, automação, confiabilidade e integração), o painel de tema visual busca colocar produtos que passem com propriedade os conceitos das expressões definidas para o produto. Na Figura 12 é apresentado o painel do tema visual do produto, inspirando a desenvolver um produto com traços simples, mas que traga segurança ao usuário.



Figura 12 – Painel de expressões do produto.
Fonte: Autoria própria.

4.2 Matriz morfológica

A metodologia utilizada para solucionar os problemas identificados e para gerar possíveis soluções foi por meio de pesquisas em campo e por pesquisas bibliográficas. Estas possíveis soluções e os problemas estão apresentados na Tabela 1, junto com a escolha das opções em negrito.

Tabela 1 – Matriz morfológica do produto.

	Opção 1	Opção 2	Opção 3
Acionamento	Triac	Relé	-
Conectividade	WIFI	Cabo	Redes Móveis
Energia	Cabo	Bateria	-
Configuração	IHM	Serial	Interface WEB
Histórico	Local	Nuvem	-

As duas principais opções a serem escolhidas para o acionamento dos aeradores são: relé e *triac*. O *triac*, sigla do termo em inglês *Triode for Alternating Current* é um dispositivo do tipo triodo bidirecional, possibilitando que ele controle a onda completa CA (Corrente Alternada). E o relé é um componente eletromecânico, ou seja, nele consta uma parte mecânica de contato e uma bobina, que através da corrente elétrica aciona a chave de contato. Desse modo, para o acionamento optou-se pelo *triac*, pois o semicondutor apresenta um ciclo de vida maior em relação às partes mecânicas do relé.

No caso da conectividade, escolheu-se a comunicação sem fio para evitar cabos no ambiente de produção. Uma próxima versão do produto contará também com conectividade por redes móveis.

A alimentação do sistema escolhida é a cabo, porque, mesmo que a central possuísse bateria mantendo-a ligada, os aeradores e o roteador não irão funcionar sem energia tornando desnecessária a central manter-se ligada. Em uma próxima versão com conectividade por redes móveis, o produto possuirá bateria podendo assim sinalizar o usuário que o sistema está desenergizado.

O histórico armazenado na nuvem permite que os dados obtidos sejam usados para rastreabilidade e aprimoramento da produção, em uma próxima versão o uso do cartão pode vir a ser integrado ao sistema, podendo assim armazenar os dados de oxigênio durante a falta de energia.

4.3 Seleção de material

Após a definição das funcionalidades do produto, os painéis de produto e a matriz morfológica são definidos quais especificação os componentes usados deverão possuir.

4.3.1 Tecnologia de Processador

Esse produto requer conexão à Internet para publicar os dados na nuvem. Ele também irá necessitar da interface Bluetooth para parametrizar as sondas por meio do aplicativo *mobile*. Além disso,

o microprocessador utilizado precisará de pinos de saída para os atuadores, pinos de entrada para os botões, uma interface UART com controle de fluxo para enviar e receber dados para a sonda e interface I2C para a enviar dados ao display da IHM.

Na busca por um dispositivo que suprisse os requisitos apresentadas no parágrafo anterior, chegou-se em dois módulos: ESP32-WROOM-32E, por US\$ 2.50, e o Sterling – EWB, por US\$ 15.10. Contudo o selecionado foi o módulo ESP32-WROOM-32E, os critérios utilizados na decisão foi o custo e a grande diversidade de documentação disponibilizada.

Especificações do ESP32-WROOM-32E:

- ESP32-D0WD-V3 embarcado, Xtensa® dual-core
- 32-bit LX6 microprocessador, máximo de 240 MHz
- 448 KB ROM para inicialização e funções básicas
- 520 KB SRAM para dados e instruções
- 16 KB SRAM em RTC
- Wireless padrão 802.11b/g/n
- Conexão Wifi 2.4Ghz (máximo de 150 Mbps)
- Bluetooth V4.2 BR/EDR e Bluetooth LE specification
- Interfaces: cartão SD, UART, SPI, SDIO, I2C, LED
- PWM, Motor PWM, I2S, IR, contador de pulso, GPIO, sensor capacitivo de toque, ADC, DAC
- 40 MHz crystal oscillator
- Antena embutida
- MB SPI flash
- Tensão de operação: 3.0 ~ 3.6 V

4.3.2 Periféricos necessários

Na interface homem máquina do produto, serão usados três botões à prova d'água e um display I2C. Para a comunicação com as sondas, que usam o padrão RS-485, foram selecionados dois componentes: MAX3485, por US\$ 3.05, e o SN65HVD72DR, por US\$ 2.57. O critério de escolha do dispositivo foi o preço, desse modo o componente escolhido foi o SN65HVD72DR, apresentado na Figura 13.

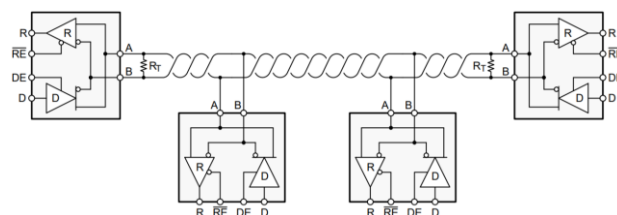


Figura 13 – Diagrama de aplicação SN65HVD72x.

Fonte: TEXAS INSTRUMENTS, 2019.

Para o acionamento dos aeradores, foram selecionados dois optoacopladores de saída Triac: MOC3023M, por US\$ 0.41, e o MOC3043M, por US\$ 0.98. O componente escolhido foi o MOC3043M (Figura 14), pois ele possui, integrado ao sistema, um circuito de detecção de cruzamento de tensão de zero.

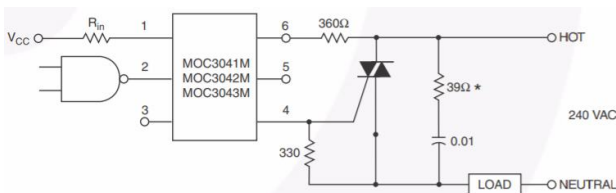


Figura 14 – Circuito de Chaveamento MOC303xM e MOC304xM.

Fonte: FAIRCHILD SEMICONDUCTOR, 2015.

4.3.3 Alimentação do sistema

O sistema utiliza uma fonte externa de 220Vac/60Hz para 12Vcc para alimentar as sondas, o circuito Triac e o circuito do regulador LM7805 (Texas Instruments), que alimenta o Módulo ESP32 e o display.

4.3.4 Sensor

O sensor de oxigênio dissolvido ainda se encontra em fases de testes e validação. Para a validação do software da sonda, desenvolveu-se um sistema microcontrolado que simula o comportamento da sonda através de um microcontrolador que adquire dados de temperatura e luminosidade (sensor óptico). Os dados são tratados e transmitidos por RS-485 conforme o protocolo de comunicação implementado pela sonda.

4.4 Projeto de interface do produto

O esboço do projeto ilustra a interação do usuário com o sistema. No caso deste projeto, será desenhada a interface física e a digital. Na interface homem-máquina, optou-se a utilização de um LCD 16x2 e três botões. Para se obter uma interface simples e que possua todos os dados necessários para o controle adequado do sistema, foram estabelecidas as seguintes configurações:

- Configuração das sondas.
- Configura o número de sondas.
- Configuração membrana.
- Configurar WIFI.

Assim, desenvolveu-se a árvore de funções do menu, apresentada na Figura 15 .

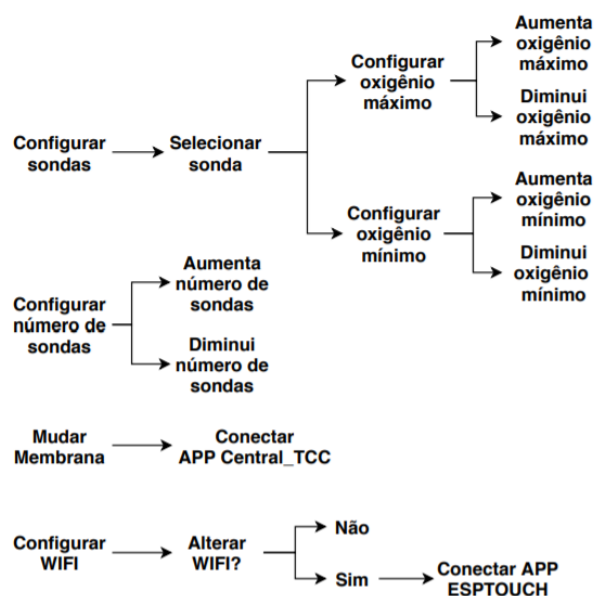


Figura 15 – Árvore de funções do menu.

Fonte: Autoria própria.

No layout da interface física, optou-se pela utilização de um LCD central na parte superior do produto, com suas funções e ajustes selecionados por meio dos botões, dispostos de forma simétrica, conforme pode ser observado no layout apresentado na Figura 16.

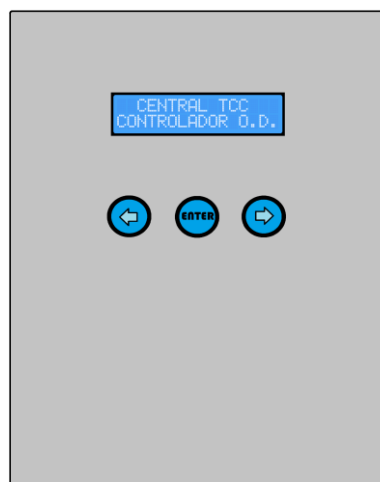


Figura 16 – Layout da interface física.

Fonte: Autoria própria.

Definidos árvore de funções do menu e layout do produto, pode-se traçar as interações entre usuário e dispositivo através de um diagrama de modos conforme a Figura 17. Define-se rotas e caminhos de retorno, maximizando eficiência do projeto e reduzindo as transições de estados ilegais.

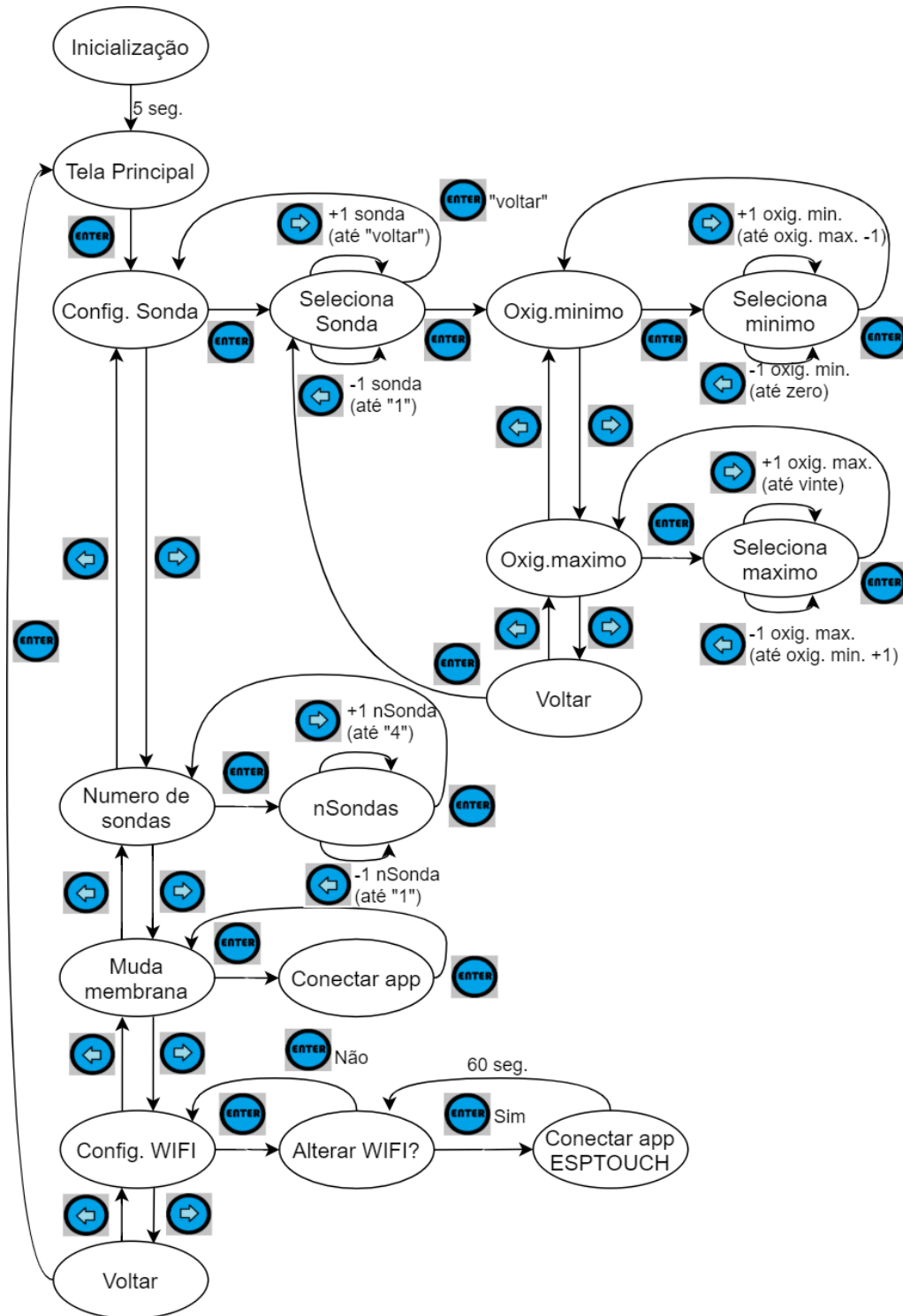


Figura 17 - Diagrama de modos.
Fonte: Autoria própria.

Com o diagrama de modos finalizado e definindo as possíveis interações permitidas entre usuário e dispositivo para a navegação entre as funções, cria-se um *storyboard* contendo todos os modos com que o dispositivo irá interagir visualmente com o usuário.

Para um melhor entendimento do uso da interface do produto, serão apresentados:

Inicialização: Essa etapa ocorre apenas quando o sistema é inicializado, apresentando por cinco segundos a tela apresentada na Figura 18.



Figura 18 – Inicialização.
Fonte: Autoria própria.

Tela Principal: Ao ligar o produto pela primeira vez, na configuração básica do produto, apenas a sonda 1 (S1) é cadastrada. Na Figura 19, apresenta-se configuradas as sondas 1 e 2, com intercalação das telas a cada cinco segundos. No topo esquerdo da tela temos a identificação, onde S1 é a sonda 1, S2 a sonda 2 e assim por diante, abaixo da identificação da sonda indica se o WIFI está ou não conectado (W1 conectado e W0 desconectado). O oxigênio dissolvido é dado em miligramas por litro (mg/L) e a temperatura em graus celsius (°C).

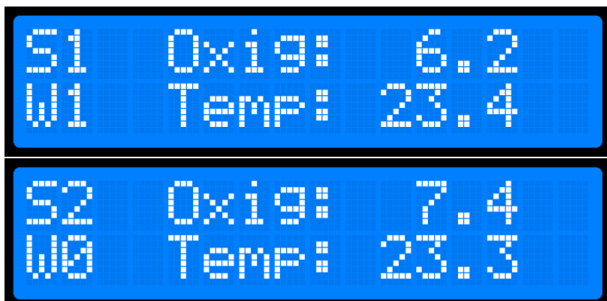


Figura 19 – Tela principal.
Fonte: Autoria própria.

Menu Principal: Será dividido em telas.

- **Tela 1:** a tela na Figura 20 apresenta a opção de menu de configuração de sondas.

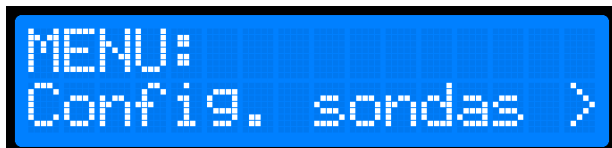


Figura 20 – Menu principal - Tela 1.
Fonte: Autoria própria.

- **Tela 2:** a tela na Figura 21 apresenta a opção de menu de cadastro o número de sondas que serão usadas.

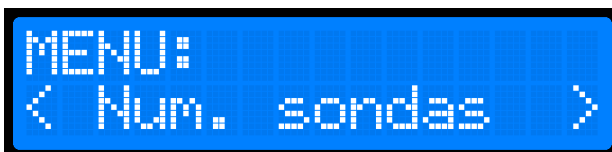


Figura 21 – Menu principal - Tela 2.
Fonte: Autoria própria.

- **Tela 3:** a tela (Figura 22) apresenta a opção de menu de troca de membrana.

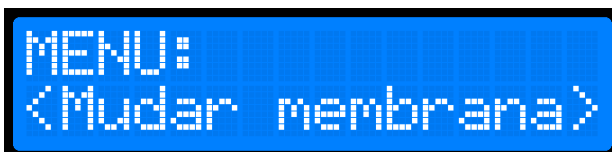


Figura 22 – Menu principal - Tela 3.
Fonte: Autoria própria.

- **Tela 4:** a tela (Figura 23) apresenta a opção de menu de configuração de WIFI.



Figura 23 – Menu principal - Tela 4.
Fonte: Autoria própria.

- **Tela 5:** a tela (Figura 24) apresenta a opção de menu de voltar a tela principal.

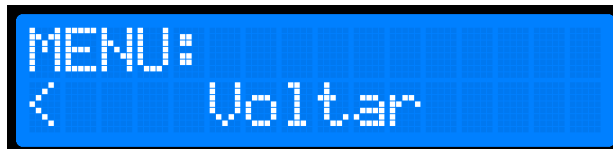


Figura 24 – Menu principal - Tela 5.
Fonte: Autoria própria.

Menus Secundários: Os menus secundários são as continuidades das telas do menu principal.

- **Configuração das sondas:** primeiramente deve selecionar no menu principal a opção “Config. sondas” (Tela 1), em seguida será selecionada qual das sondas deseja-se configurar ou voltar ao menu principal (Figura 25). Após se selecionar uma sonda, será aberto o menu de configuração da sonda escolhida, com as opções de escolher o limite mínimo (Figura 26) e máximo (Figura 27) de oxigênio dissolvido e voltar (Figura 28) para a tela de seleção de sondas.

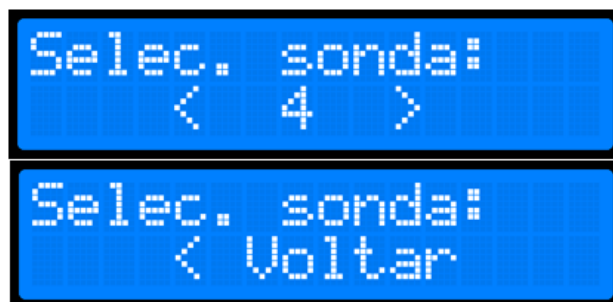


Figura 25 – Menu secundário - Seleção de sonda.
Fonte: Autoria própria.

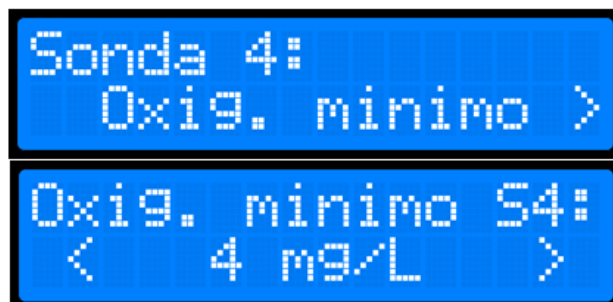


Figura 26 – Menu sonda - Limite mínimo.
Fonte: Autoria própria.

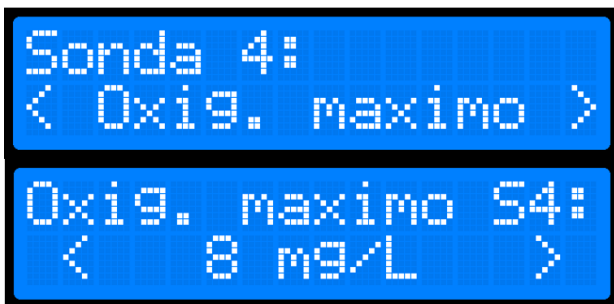


Figura 27 – Menu sonda - Limite máximo.
Fonte: Autoria própria.

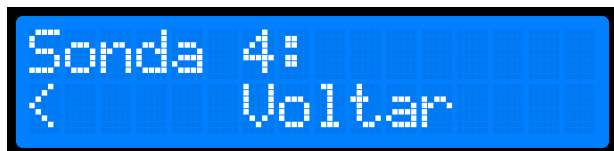


Figura 28 – Menu sonda - Voltar.
Fonte: Autoria própria.

- **Número de sondas:** primeiramente deve-se selecionar no menu principal a opção “Num. sondas” (Tela 2), em seguida será selecionado o número de sondas ligadas a central (Figura 29).



Figura 29 – Menu secundário - Número de sonda.
Fonte: Autoria própria.

- **Trocar membrana:** primeiramente deve selecionar no menu principal a opção “Mudar membrana” (Tela 3), onde aparecerá uma mensagem indicando para se conectar ao aplicativo da central, chamado de Central_TCC (Figura 30).

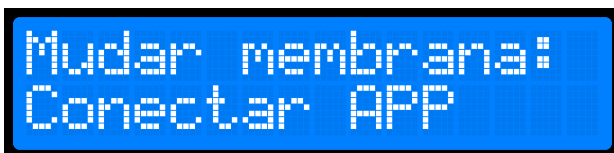


Figura 30 – Menu secundário - Troca de membrana.
Fonte: Autoria própria.

- **Configuração de WIFI:** para configurar o WIFI, deve-se selecionar no menu principal a opção “Config. WIFI” (Tela 4), onde aparecerá a pergunta “Alterar WIFI?”, se não se deseja alterar deve-se selecionar o “NAO”, caso o contrário “SIM”. Ao selecionar a opção “SIM” aparecerá na tela “APP ESPTOUCH” (Figura 31) onde o usuário deverá usar o aplicativo ESP-TOUCH da Espressif para fazer a configuração do WIFI, o usuário terá até sessenta segundos para fazer a alteração.

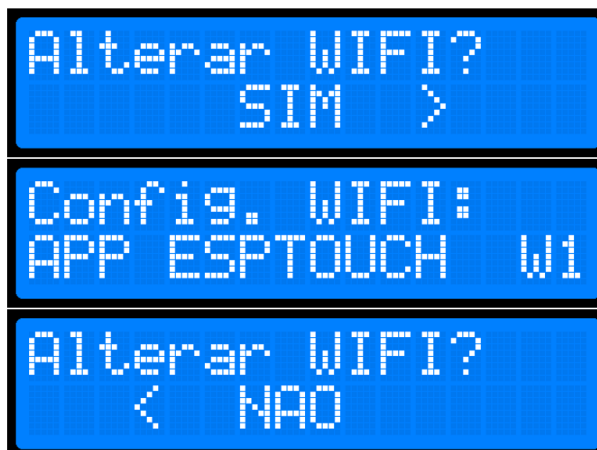


Figura 31 – Menu secundário - Configuração de WIFI.
Fonte: Autoria própria.

Para a configuração da rede WiFi no dispositivo, será utilizado o aplicativo para smartphone “ESP-TOUCH”, da Espressif, disponível Android e IOS. O aplicativo permite a configuração da infraestrutura WiFi enviando o usuário e senha através de pacotes ao ponto de acesso Wi-Fi (AP) e codifica o SSID e a senha no campo comprimento de uma sequência de pacotes UDP (Figura 32).

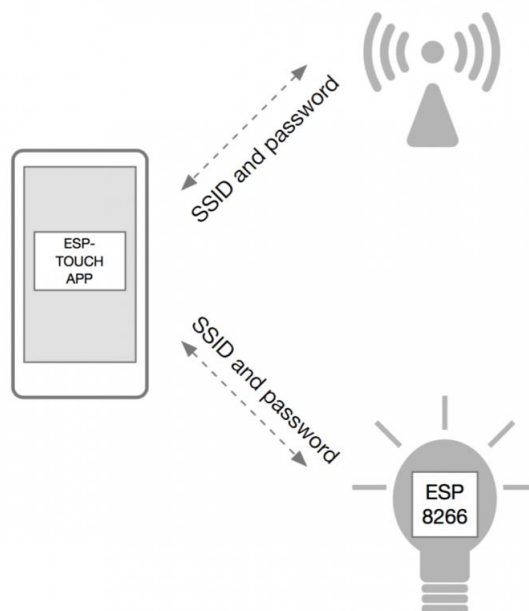


Figura 32 - Funcionamento do APP ESP-TOUCH.
Fonte: ESPRESSIF.

Já para a configuração dos parâmetros do sensor de oxigênio, o aplicativo a ser usado será o “Central_TCC”, desenvolvido pela autora deste trabalho com o auxílio do site “https://appinventor.mit.edu/” e do aplicativo para Android “MIT AI2 Companion”, faz conexão via Bluetooth com a central de controle.

Para conectar e configurar a central, primeiramente o usuário deverá conectar o dispositivo móvel com a central como demonstra a Figura 33.

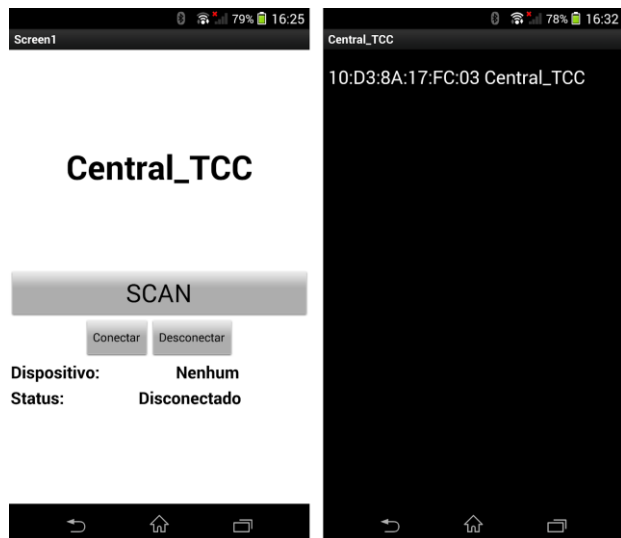


Figura 33 – Conexão do APP Central_TCC.
Fonte: Autoria própria.

Após mapear a conexão *Bluetooth* deve-se apertar no botão “conectar”. A próxima tela do aplicativo permite configurar os parâmetros do sensor de oxigênio (Figura 34).

Utilizou-se sensores de oxigênio dissolvido ópticos e, para tais sensores, a membrana deve ser trocada periodicamente. Os valores dos coeficientes de cálculo para a conversão de tensão para mg/L devem ser alterados conforme a especificação do fabricante da membrana.



Figura 34 – Modo de uso do APP Central_TCC.
Fonte: Autoria própria.

5 DESENVOLVIMENTO DO PROTÓTIPO

Para o desenvolvimento protótipo do produto, optou-se por utilizar módulos com o intuito de

acelerar o processo de testes. Já pré-definidos os periféricos do sistema, são definidos os módulos para a elaboração do layout do circuito da central. O primeiro módulo selecionado é o do ESP32 neste caso optou-se por utilizar o módulo WiFi ESP32 com suporte de bateria, apresentado na Figura 35).

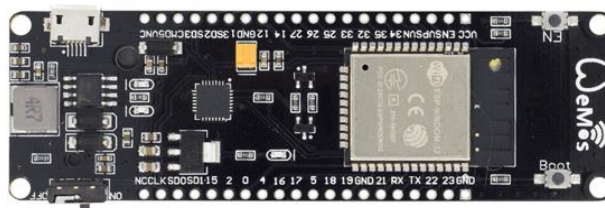


Figura 35 – Módulo WiFi ESP32 com Suporte de Bateria.
Fonte: Autoria própria.

O segundo módulo selecionado é o RS-485, contudo neste caso foi removido o componente MAX485 do módulo e soldado no lugar o SN65HVD72DR, apresentado na Figura 36.

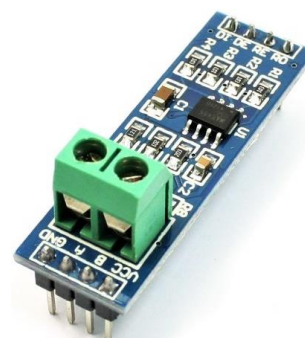


Figura 36 – Módulo RS-485.
Fonte: Autoria própria.

Para apresentação dos dados foi usado o display LCD 16x2 I2C, apresentado na Figura 37.



Figura 37 – Display LCD 16x2 I2C Backlight Azul.
Fonte: Autoria própria.

Após a definição dos módulos foi desenvolvido o esquemático e o layout do circuito. O circuito foi testado e em seguida, foram enviados os arquivos para a empresa JLC PCB para confeccionar a PCB do sistema, Figura 38.

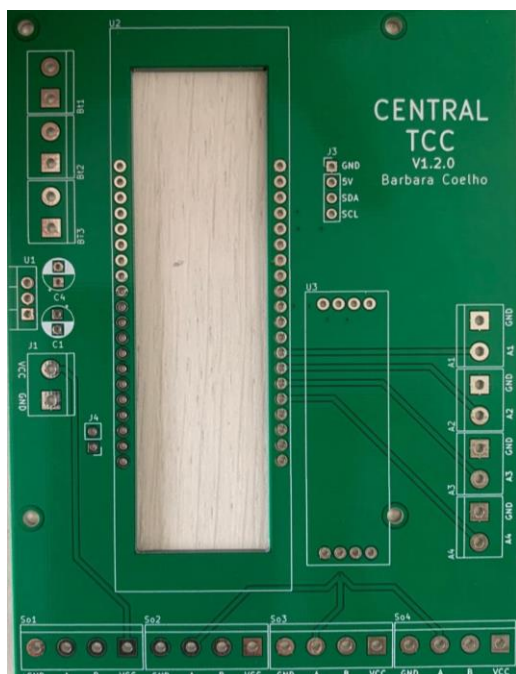


Figura 38 – PCB Central TCC.
Fonte: Autoria própria.

Em paralelo com o desenvolvimento da PCB foi implementado o código para o microcontrolador usando o ESP-IDF, que é o ambiente de desenvolvimento de software para o hardware baseado no chip ESP32 da Espressif, e o Visual Studio Code, que é um editor de código-fonte desenvolvido pela Microsoft.

Após a chegada das PCBs, foi soldada uma placa Central TCC para testar o sistema, Figura 39.



Figura 39 – PCB Central TCC soldada.
Fonte: Autoria própria.

Para a alimentação do sistema foi selecionada uma mini fonte chaveada bivolt de 12Vcc e 5A, de 60W (Figura 40).



Figura 40 – Mini fonte chaveada bivolt de 12Vcc.
Fonte: Autoria própria.

A Figura 41 apresenta o teste do sistema, sendo alimentado pela fonte de 12Vcc. Utilizou-se primeiramente botões *push button* normais para os testes, porém, como o sistema ficará exposto às intempéries ambientais, os botões devem ser resistentes à penetração de corpos sólidos e líquidos. Com esse teste inicial do sistema, conseguiu-se validar o protocolo da comunicação e a interface homem-máquina (IHM).

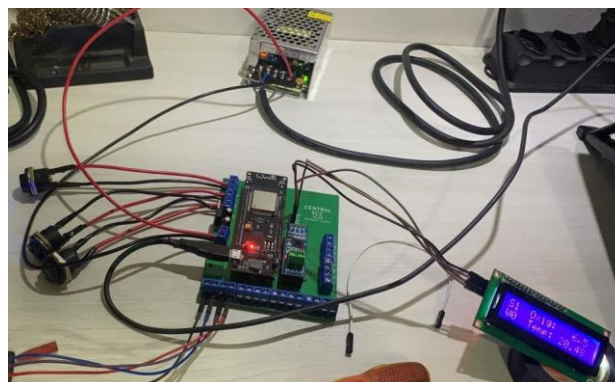


Figura 41 – Teste inicial do sistema.
Fonte: Autoria própria.

O próximo passo é colocar o sistema em um invólucro para os testes externos. Para isso foram escolhidos um invólucro que seja resistente a corpos sólidos e líquidos, um “prensa cabo” para o cabo de alimentação, o cabo de alimentação, plugue macho de dois polos, um cabo para a comunicação RS-485 blindado com dois fios para a comunicação e dois para a alimentação do circuito, um conector de engate rápido para a sonda, um acrílico transparente de 1mm para a vedação do display, e por fim os botões conforme ilustrado pela Figura 42.



Figura 42 – Itens para testes externos.
Fonte: Autoria própria.

Como para o teste foi realizado com botões sem resistência a corpos sólidos e líquidos, optou-se para mantê-lo dentro da caixa. A Figura 43 apresenta o sistema montado e sendo testado em um ambiente externo.



Figura 43 – Teste em ambiente externo.
Fonte: Autoria própria.

Os dados obtidos nos testes foram apresentados no display e enviados para a nuvem AWS, assinando o tópico “central/sondas”. Os dados foram enviados no formato “JSON” com a identificação da central, da sonda, o valor de oxigênio e temperatura obtido pela sonda. Podendo assim acompanhar o funcionamento do sistema remotamente. A Figura 44 apresenta alguns dados recebidos pelo AWS IoT.

central/sondas setembro 16, 2020, 17:44:11 (UTC-0300)

```
{
  "IDc": 1,
  "IDs": 3,
  "temp": 19.67,
  "oxygen": 10.79
}
```

Figura 44 – Dados recebidos no tópico “central/sondas” pelo AWS IoT.
Fonte: Autoria própria.

A cada vinte minutos os dados fornecidos pelo sistema são recebidos, armazenados e acessados usando *pdAdmin*, que é uma plataforma de desenvolvimento e administração de código aberto com recursos para PostgreSQL, um banco de dados de código aberto. A Figura 45 apresenta a tabela de uma central com três sondas.

	id [PK] in	id_central bigint	id_sonda bigint	temperatura numeric	oxigenio numeric	criado_em timestamp without time zone
1	3620	1	2	23.8	8.81	2020-09-15 08:14:32
2	3619	1	3	21.27	10.92	2020-09-15 08:14:31
3	3618	1	1	23.21	10.31	2020-09-15 08:14:31
4	3617	1	3	21.32	11.03	2020-09-15 07:54:31
5	3616	1	2	23.85	8.8	2020-09-15 07:54:31
6	3615	1	1	23.21	10.45	2020-09-15 07:54:31
7	3614	1	3	21.36	10.99	2020-09-15 07:34:31
8	3613	1	2	23.89	8.9	2020-09-15 07:34:31
9	3612	1	1	23.27	10.36	2020-09-15 07:34:31
10	3611	1	3	21.45	11.0	2020-09-15 07:14:32
11	3610	1	2	23.91	8.48	2020-09-15 07:14:31
12	3609	1	1	23.29	10.57	2020-09-15 07:14:31

Figura 45 – Tabela de dados obtidos no pgAdmin.

Fonte: Autoria própria.

6 CONCLUSÃO

Esse trabalho descreveu algumas etapas para o desenvolvimento de um sistema embarcado comercial. Iniciou-se com a identificação de um problema apresentado pelos produtores de peixe. Em seguida realizou-se a definição de um produto, pesquisou-se o mercado, as especificações e restrições que devem ser consideradas para o desenvolvimento. Em seguida realizou-se um esboço que considera a interface com o usuário e a seleção dos componentes.

O produto desenvolvido provavelmente trará inúmeros benefícios aos produtores de peixes, obtendo um melhor controle do oxigênio dissolvido dos seus tanques de produção aquícola, reduzindo os riscos de mortalidade dos peixes por falta de oxigênio e possivelmente um aumento da produção.

Para o desenvolvimento do trabalho foi utilizado o modelo PRODIP, que é uma metodologia ágil para gestão e planejamento de projetos. Desse modo, foi possível organizar o projeto do produto conseguindo assim uma melhor produtividade. Ao final do projeto, conseguiu-se desenvolver um sistema embarcado que consiste em trazer para o setor de aquicultura um sistema automático de monitoramento e controle dos tanques de produção aquícola.

Para versões futuras da central de controle, pretende-se adicionar a opção de conectividades por redes móveis, usar bateria, substituir o módulo ESP32 utilizando diretamente os circuitos integrados do microcontrolador/ periféricos, usar o aplicativo

“Central_TCC” para configurar o Wifi, no lugar do “ESPTOUCH”, e ampliar as opções de sensores, como o sensor de pH e de amônia, que também devem ser monitoradas.

Agradecimentos

A autora gostaria de agradecer aos professores do Curso de especialização Desenvolvimento de Produtos Eletrônicos, do Departamento Acadêmico de Eletrônica do IFSC campus Florianópolis, a banca avaliadora e ao professor Renan Augusto Starke pela orientação do trabalho.

REFERÊNCIAS

Acqua Nativa Monitoramento Ambiental.

Disponível em:

<<https://www.acquanativa.com.br/aplicacoes/monitoramento-viveiro-aquicultura.html>>. Acesso em: 14 de julho de 2020.

ALBUQUERQUE, A. Lançamento Anuário Peixe BR de Piscicultura 2020. **PEIXE BR**. Disponível em:<<https://www.peixebr.com.br/lançamento-anuario-peixe-br-de-piscicultura-piscicultura-2020/#:~:text=A%20til%C3%A1pia%20consolidada%2Dse%20como,o%20Jap%C3%A3o%20e%20a%20China.>>. Acesso em: 17 de set. de 2020.

CODDINGTON, D. T.; GREEN, B. W. **Tilapia yield improvement through maintenance of minimal oxygen concentrations in experimental grow-out ponds in Honduras**. *Aquaculture*, v.118, n.63-71, dez. 1993.

Dissolved Oxygen Prope. AtlasScientific Environmental Robotics.

Disponível em:

<<https://atlas-scientific.com/probes/dissolved-oxygen-probe/>>. Acesso em: 14 de julho de 2020.

Espressif's ESP-TOUCH protocol implements the Smart Config technology to help users connect ESP8266EX-embedded devices to a Wi-Fi network through simple conFiguration on a smartphone. **ESPRESSIF**. Disponível em: <<https://www.espressif.com/en/products/software/esp-touch/overview>>. Acesso em: 17 de maio de 2020.

ESPRESSIF, **Datasheet: ESP32 Series**. Rev. 3.4, abr. de 2020.

EXPORTAÇÕES DE PEIXES DE CULTIVO AUMENTAM 32,8% NO 1º TRIMESTRE DE 2020. **PEIXE BR**, 11 de maio de 2020. Disponível em:<<https://www.peixebr.com.br/exportacoes-de-peixes-de-cultivo-aumentam-328-no-1o-trimestre-de-2020/>>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

FAIRCHILD SEMICONDUCTOR. **Datasheet: MOC3031M, MOC3032M, MOC3033M, MOC3041M, MOC3042M, MOC3043M 6-Pin DIP Zero-Cross Triac Driver Output Optocoupler (250/400 Volt Peak)**. Rev. 1.6, ago. 2015.

FIORUCCI, R. A.; FILHO, E. B. **A Importância do Oxigênio Dissolvido em Ecossistemas Aquáticos**. *Química Nova na Escola*, n. 22, p. 10-16, nov. 2005.

KUBITZA, F. **Oxigênio Dissolvido e sua importância para o desempenho e saúde dos peixes e camarões**. Parte I. *Panorama da Aquicultura*, Vol. 27, nº162, jul./ago. 2017.

TEXAS INSTRUMENTS. **SN65HVD7x 3.3-V Supply RS-485 With IEC ESD protection**. Rev., mar. de 2019.

PRODUÇÃO ANIMAL. **Infoagro**, 2018.

Disponível em:

<<http://www.infoagro.sc.gov.br/index.php/safra/producao-animal-2>>. Acesso em: 29 de maio de 2020.

Texas Instruments. **Datasheet: LM340, LM340A and LM7805 Family Wide VIN 1.5-A Fixed Voltage Regulators**. Rev.1, set de 2016.

TSADIK, G G.; KUTTY, M. N. INFLUENCE OF AMBIENT OXYGEN ON FEEDING AND GROWTH OF THE TILAPIA,

OREOCHROMIS NILOTICUS (LINNAEUS).

African Regional Aquaculture Centre, Port Harcourt, Nigeria Centre Regional African D'aquaculture, Port Harcourt, Nigeria e United Nations Development Programme Food And Agriculture Organization Of The United Nations Nigerian Institute For Oceanography And Marine Research Project RAF/82/009, jul. 1987.