

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE INFORMÁTICA
CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

FILIPE AVILA SOARES

**Desenvolvimento de um Alimentador de Peixes Microcontrolado para
Sistemas de Aquaponia**

Monografia apresentada como requisito parcial para
a obtenção do grau de Bacharel em Engenharia de
Computação.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo de Oliveira Johann

Porto Alegre
2019

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

Reitor: Rui Vicente Oppermann

Vice-Reitor: Jane Fraga Tutikian

Pró-Reitor de Graduação: Vladimir Pinheiro do Nascimento

Diretor do Instituto de Informática: Carla Maria Dal Sasso Freitas

Coordenador do Curso de Engenharia de Computação: André Inácio Reis

Bibliotecária-Chefe do Instituto de Informática: Beatriz Regina Bastos Haro

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Universo por estar neste tempo e neste planeta, buscando realizar minha missão com propósito e dedicação. Agradeço à imprevisibilidade da vida e seus infinitos desdobramentos, que nos permite, a cada dia, fazermos as melhores escolhas que podemos fazer. Honro todos os desafios pelos quais passei, pois me ajudaram a moldar o meu caráter e proporcionaram ascensão espiritual.

Sou grato a todas as pessoas que convivo ou que já convivi, pois são portais de transformação em minha vida. Agradeço à minha família, amigos e companheiros, pois sua contribuição foi fundamental na formação do ser que sou hoje.

Agradeço a esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que, por seu empenho e dedicação, oportunizaram a conclusão de mais esta etapa de vida. Por fim, agradeço à natureza, fonte eterna de sabedoria e aprendizado e o bem maior deste planeta.

RESUMO

Resumo. Pesquisa e desenvolvimento de um alimentador microprocessado para peixes em aquários de pequeno e médio porte (até 500 litros) Por meio da análise de parâmetros da água (temperatura e pH) com o uso de sensores, o alimentador determinará a quantidade de comida diária que deverá ser liberada para os peixes com o auxílio de um atuador. O projeto também conta com interface de usuário e comunicação wireless para fácil configuração e monitoramento do sistema.

Palavras-chave: Aquaponia. Automação. IHC. ESP32. Bluetooth Low Energy. Microcontrolador.

Development of a microcontrolled fish feeder for aquaponic systems

ABSTRACT

Research and development of a fish feeder equipped with a microprocessor suited for fish tanks with volume below 500 liters. The amount of feeding released daily is calculated taking into account different water parameters (temperature and pH) which are measured by sensors and will be released to the fish tank with the aid of an actuator. The project will also have a user interface and wireless communication for configuring and monitoring through a mobile phone.

Keywords: Aquaponics. Automation. IHC. ESP32. Bluetooth Low Energy. Microcontroller.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo biológico de sistemas de aquaponia.....	21
Figura 2. Esquema de funcionamento de um sistema de aquaponia.	23
Figura 3. Exemplo de um sistema de aquaponia residencial.	23
Figura 4. Diagrama de Blocos de um microcontrolador.	26
Figura 5. Detalhes do alimentador inteligente a ser desenvolvido.	32
Figura 6: Diagrama da arquitetura proposta neste trabalho	34
Figura 7: Diagrama de casos de uso.....	36
Figura 8: Hierarquia de telas	36
Figura 9: Proposta de tela inicial.....	37
Figura 10: Proposta de tela de configuração	37
Figura 11: Proposta de tela de monitoramento	38
Figura 12: Vistas do sistema de aquaponia que será utilizado	38
Figura 13: Esquema da arquitetura do sistema a ser implementado.	41
Figura 14: Sensor de temperatura DS18B20.....	43
Figura 15: Sensor de pH (eletrodo e placa amplificadora)	43
Figura 17: Modulo ESP32-WROOM-32.....	45
Figura 18: Arquitetura ESP32	46
Figura 19: Modulo RTC DS3231.....	49
Figura 20: Modulo de Cartão SD	50
Figura 21: As duas topologias de comunicação do Bluetooth Low Energy.....	52
Figura 22: Pilha de Protocolo do Bluetooth Low Energy	52
Figura 23: Telas do aplicativo desenvolvido para celular.....	55
Figura 24: Telas de calibração do sensor de pH	56
Figura 25: Esquema de funcionamento da unidade de controle	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Relação de periféricos do ESP32.....	46
Tabela 2: Modos de operação do ESP32	47
Tabela 3: Custos de implementação do projeto	59
Tabela 4: Resultado da avaliação heurística e sugestões de correção pelo Autor.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPU	Central Processing Unit
SoC	System on Chip
DMIPS	Dhrystone Millions of Instructions per Second
pH	Potencial Hidrogeniônico
IHC	Interação Humano-Computador
GUI	Graphical User Interface
UML	Unified Modeling Language
GPIO	General Purpose Input/Output
ADC	Analog-Digital Converter
DAC	Digital-Analog Converter
I2C	Inter-Integrated Circuit
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
SPI	Serial Peripheral Interface
I2S	Inter-IC Sound
PWM	Pulse Width Modulation
IR	Infra Red
BR/EDR	Basic Rate/ Enhanced Data Rate
BLE	Bluetooth Low Energy
RTC	Real Time Clock
SD	Secure Digital
L2CAP	Logic Link Control And Adaption Protocol
SMP	Security Manager Protocol
ATT	Attribute Protocol
GATT	Generic Attribute Profile
GAP	General Access Profile
SCLK	Serial Clock
MOSI	Master Output Slave Input
MISO	Master Input Slave Output
SS	Slave Select

SUMÁRIO

RESUMO	11
LISTA DE FIGURAS	14
1 INTRODUÇÃO	19
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	20
2.1 Aquaponia.....	20
2.1.1 Alimentação dos peixes	21
2.1.2 Nutrição das plantas	22
2.1.3 Aspectos importantes para manter o correto funcionamento de um sistema de aquaponia	23
2.2 Automação.....	25
2.2.1 Smart Farming.....	25
2.3 Microcontroladores	26
2.3.1 <i>System on Chip</i>	27
2.4 Protocolos de Comunicação	28
2.5 IHC.....	29
2.6 Usabilidade	30
3. PROPOSTA	32
3.1 Motivação.....	33
3.2 Público Alvo	33
3.3 Arquitetura.....	33
3.4 Engenharia de Requisitos	34
3.5 Casos de Uso	35
3.6 Interface.....	36
3.7 Sistema de Aquaponia.....	38
3.8 Considerações Finais.....	39
4 TRABALHOS RELACIONADOS	39
5. IMPLEMENTAÇÃO	40
5.1 Sensores de qualidade da água	42
5.1.1 Sensor de Temperatura	42
5.1.2 Sensor de pH.....	43
5.2 Atuadores (alimentador).....	44
5.2.1 Rosca transportadora (Parafuso de Arquimedes).....	44
5.3 Unidade de controle	45
5.3.1 ESP32	45
5.3.2 Periféricos	46
5.3.3 Conectividade Wireless	47
5.3.4 <i>Deep Sleep</i> e Interrupções.....	47
5.4 RTC Externo.....	49
5.5 Módulo de Cartão SD.....	50
5.6 Protocolos e interfaces de Comunicação Utilizados.....	51
5.6.1 Bluetooth e Bluetooth LE	51
5.6.2 SPI	53
5.6.3 1-Wire	53
5.6.4 I ² C.....	54
5.7 Interação Humano Computador.....	55
5.8 Esquema de Funcionamento.....	56
5.9 Custos do Projeto	58

6 AVALIAÇÃO.....	59
6.1 Ambiente de Testes.....	60
6.2 Verificação do funcionamento dos sensores e atuadores.....	60
6.3 Análise do sistema em casos de falhas.....	60
6.4 Análise da interface de usuário.....	61
7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS.....	63
ANEXO A – ARTIGO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO 1.....	71

1 INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e o êxodo rural já se tornaram constantes no mundo atual e explicitam uma transição importante da humanidade. Já vivem mais pessoas nas cidades do que no campo e a tendência é que isso só aumente (NATIONS, 2014). Com esse fenômeno, surgem também diversos problemas sociais e ambientais pois não há moradia para todos dentro das cidades e o sistema de produção e transporte de alimentos torna-se ineficiente e sobrecarregado.

A partir desta problemática, surgem soluções que visam aumentar a qualidade de vida dentro das cidades, bem como trazer segurança alimentar e descentralizar os sistemas produtivos. Neste âmbito, surgiu o conceito de agricultura urbana, que visa solucionar esses problemas empoderando os cidadãos no processo. Ao fazer com que as pessoas cultivem os seus próprios alimentos dentro das cidades ou que produzam para comercializar com outras pessoas daquela região, é possível aumentar o acesso a alimentos saudáveis e livres de agrotóxicos (PIRES, 2016). Além disso, Pires (2016) afirma que com essa forma de produção, também pode-se reduzir os impactos ambientais gerados pela cadeia de distribuição dos alimentos que inclusive gera grandes desperdícios.

Quando falamos em agricultura urbana, logo pensamos em hortas domésticas ou hortas comunitárias, mas na verdade existem diversas outras formas de cultivo que podem ser aplicadas dentro das cidades. Agricultura urbana é, na verdade toda prática intra-urbana ou peri-urbana onde se cultiva, produz, cria, processa e distribui uma variedade de produtos alimentícios utilizando largamente os recursos humanos e materiais encontrados dentro e em torno da área urbana (RUIF, 2000).

Um sistema de cultivo que vem se popularizando bastante e que perfeitamente se encaixa nos atributos acima citados é a aquaponia, que consiste no cultivo integrado de peixes e vegetais com alta produtividade, mínimo de desperdício de recurso e baixo investimento, podendo ser executado em qualquer escala de tamanho. Em sistemas como esse, porém, quanto menor o tamanho do sistema, maior é a dificuldade de mantê-lo em equilíbrio. Fatores como quantidade de alimento dado aos peixes, temperatura e pH da água influenciam muito no estabelecimento deste ponto e acabam por dificultar o trabalho do produtor que, muitas vezes, é iniciante no uso da técnica ou não pode despende o devido tempo para realizar esse acompanhamento. Visando minimizar essas dificuldades, este trabalho visa desenvolver um alimentador inteligente que calcule a quantidade correta de ração com base em uma série de parâmetros medidos e que auxilie o produtor no manejo do sistema de aquaponia através de um

aplicativo para celulares Android que se conecta ao alimentador e exibe os valores lidos pelos sensores.

Neste trabalho são abordados os passos para o desenvolvimento desse dispositivo, compreendido pela fundamentação teórica sobre aquaponia e a nutrição dos peixes e plantas, bem como uma análise de viabilidade de construí-lo com a tecnologia disponível. Após isso, será apresentado um panorama geral das soluções já existentes no mercado e então estruturada uma proposta de como funcionará o dispositivo seguida de uma análise de todos os componentes necessários para a sua construção e as decisões de projeto que foram tomadas. Por fim, serão apresentados os passos para o desenvolvimento da solução, um esquemático do dispositivo proposto e como ele será validado.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para o correto entendimento e desenvolvimento deste trabalho, alguns conceitos de agronomia e computação devem ser apresentados. Na próxima seção, será apresentada a fundamentação teórica da aquaponia juntamente com um detalhamento sobre os seus principais elementos. A seguir, serão revisitados embasamentos teóricos de computação que permitirão o desenvolvimento do trabalho proposto.

2.1 Aquaponia

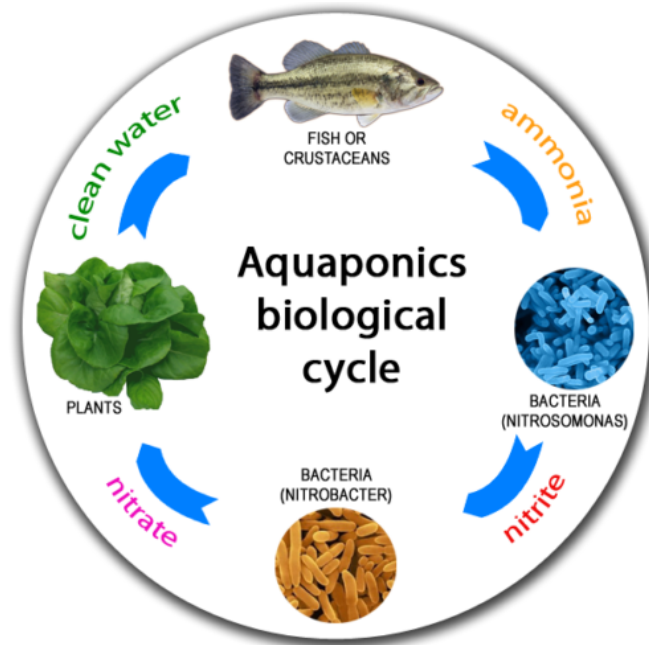
A aquaponia é a integração entre os cultivos de hidroponia e aquicultura em sistema fechados com recirculação de água e utilizando os resíduos dos peixes como fonte de nutrientes para as plantas. Tem como objetivo aumentar a eficiência da produção de alimentos e tornar as duas técnicas menos impactantes ao meio ambiente do que quando implementadas em separado.

Na aquaponia toda a água utilizada é mantida limpa graças às plantas e micro-organismos e recirculada no sistema, fazendo com que a perda de água para o ambiente seja consideravelmente baixa se dando apenas pela evapotranspiração das plantas e pela evaporação da água dos reservatórios (DIVER, 2006). Além disso, por não haver descarte de efluentes, há um melhor aproveitamento da ração e dos nutrientes inseridos no sistema (BRAZ FILHO, 2000).

A aquaponia é considerada uma produção sustentável e que possibilita a produção de alimentos mais saudáveis (HUNDLEY, 2013). A integração das duas técnicas permite a criação

tanto de sistemas compactos, ideais para produção familiar ou em centros urbanos, quanto de larga escala com objetivo comercial (BRŠĆAN, 2015).

Figura 1. Ciclo biológico de sistemas de aquaponia.



Fonte: Aquaponics Iberia¹

O baixo custo com adubos também pode ser observado, pois são os peixes que proporcionarão a solução nutritiva de baixíssimo custo para os vegetais. Os dejetos então serão aproveitados no sistema e não direcionando para a natureza, evitando assim o aumento da poluição ambiental.

As desvantagens mapeadas para este sistema são a dependência de energia elétrica, dependência de conhecimento básico de biologia, fitotecnia, piscicultura, hidráulica e engenharia e alto custo de investimento inicial; também há pouca tecnologia e informações difundida no Brasil a respeito desta técnica (BRAZ FILHO, 2000; CARNEIRO, 2015; HERBERT, 2008).

2.1.1 Alimentação dos peixes

Os peixes são animais pecilotérmicos, logo, dependem diretamente da temperatura da água para manter a temperatura corporal adequada e o correto funcionamento do seu metabolismo. Quanto maior a temperatura, mais acelerado é o metabolismo do peixe até um certo limite (que

¹ Disponível em: <<http://www.aquaponicsiberia.com/aquaponia>> Acesso em 10 de jun. de 2019.

varia entre as espécies de peixes) a partir do qual podem acarretar estresse e até óbito. A temperatura, dentre todos os parâmetros, é um dos mais importantes pois afeta diretamente todas atividades fisiológicas dos peixes (alimentação, respiração, digestão e até susceptibilidade a doenças) (BRAS FILHO, 2000; SÁ, 2012).

A velocidade do metabolismo do peixe varia em função da disponibilidade de energia nas células, que está diretamente relacionada com a quantidade de oxigênio. Como o aumento da temperatura é responsável pelo aumento da concentração de oxigênio no meio, pode-se dizer que quanto maior a temperatura, maior será a taxa de crescimento e a atividade celular dos peixes (SÁ, 2012).

Quando se cria peixes em aquário, onde o alimento é um recurso externo, deve-se tomar bastante cuidado com a quantidade e a frequência de ração dada. Pouco alimento pode prejudicar o crescimento e o ganho de biomassa dos peixes enquanto que alimento em excesso pode entrar em decomposição na água, aumentando os níveis de amônia tóxica e contribuindo para a proliferação de bactérias e algas indesejadas. O cálculo da alimentação dos peixes é feito com base na temperatura da água e na biomassa total presente no aquário. Além disso, deve-se respeitar as condições potencialmente nocivas para os peixes, como quando há muita amônia tóxica no aquário em que deve se reduzir a quantidade de comida para que o metabolismo dos peixes diminua e dê tempo para os micro-organismos fazerem a ciclagem desta substância (SALLENAVE, 2016).

Outro fator importante é a frequência em que o alimento é colocado no aquário pois afeta o ganho de biomassa dos peixes. Estudos mostram, por exemplo, que o crescimento de tilápias é ótimo quando alimentadas com 4 a 5 horas de intervalo entre as refeições (RICHIE, 2003).

2.1.2 Nutrição das plantas

As substâncias excretadas pelos peixes precisam ser quebradas por bactérias e micro-organismos em um processo chamado de nitrificação. Este processo ocorre melhor em valores mais altos de pH, por isso, é necessário manter um controle sobre este nível, indicando caso seja necessário fazer a correção dos níveis.

Se a nitrificação estiver ocorrendo adequadamente, isto é, há micro-organismos suficientes para converter a amônia em nitratos, e se o processo de oxigenação também estiver adequado, a tendência é que as plantas se desenvolvam de maneira saudável.

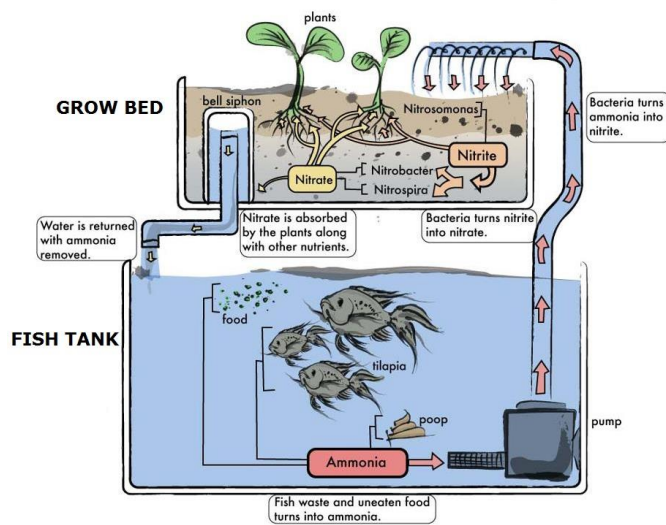
Como isso só depende de fatores relacionados ao projeto do sistema de aquaponia, não será necessário fazer um acompanhamento muito detalhado através do sistema proposto.

2.1.3 Aspectos importantes para manter o correto funcionamento de um sistema de aquaponia

A aquaponia, por ser uma técnica que integra tantos processos físicos, químicos e biológicos em um mesmo sistema, por vezes pode ser considerada um sistema frágil que necessita de um acompanhamento próximo e pode facilmente sair da estabilidade. Entre os aspectos mais importantes no manejo de um sistema aquapônico estão o controle do pH, dos níveis de amônia, a aferição da temperatura e a quantidade de ração dada aos peixes. O monitoramento desses parâmetros, em conjunto com a observação do comportamento dos peixes deve ser realizado periodicamente para detectar irregularidades e realizar as possíveis alterações (BRAZ FILHO, 2000).

O pH ideal é um ponto crítico do sistema, pois a faixa ideal de pH para os peixes é diferente da faixa de pH ideal para as plantas que é diferente da faixa de pH ideal para as bactérias nitrificantes (SALLENAVE, 2016). Isso faz com que se tenha que comprometer a eficiência de alguns elementos do sistema para que este, como um todo, funcione adequadamente. Encontrar e manter este ponto de equilíbrio é um processo trabalhoso e delicado.

Figura 2. Esquema de funcionamento de um sistema de aquaponia.



Fonte: Aquaponics Philippines²

Figura 3. Exemplo de um sistema de aquaponia residencial.



Fonte: Scarponi, 2011

² Disponível em: <<http://aquaponicsphilippines.com/wp-content/uploads/2013/01/Aquaponics-illustration.jpg>> Acesso em: 10 de jun. de 2019

O pH ideal para as atividades das bactérias fica entre 7 e 8, enquanto que o pH ideal para as plantas está entre 6,5 e 7 (KUBITZA, 2006). Já o pH para os peixes varia em relação à espécie, mas está situado normalmente entre as faixas de 6,5 e 8 (OLIVEIRA, 2016). Quando o pH está distante de 7,4 os peixes podem apresentar crescimento lento, maior susceptibilidade a doenças e mau aproveitamento dos alimentos (SÁ, 2012).

A proporção entre amônia e amônio (que é a amônia não ionizada) dissolvida na água se altera de acordo com o a variação do pH e da temperatura. Deve-se buscar manter uma quantidade baixa de amônio dissolvido na água pois é uma substância extremamente tóxica para os peixes. Por causa disso, caso os valores do pH se elevem, será necessário fazer uma correção adicionando um agente acidificante.

Outro cuidado com o pH, que também implica em sua correção ocasional, é o de que à medida que a amônia e o amônio na água vão sendo quebrados, o pH vai diminuindo e a água se tornando mais ácida, em decorrência da liberação de íons de H. Quando isso acontece, a eficiência do processo de nitrificação realizado pelas bactérias é reduzida, aumentando a quantidade de amônia e amônio na água.

A quantidade e a qualidade da ração também influenciam na qualidade da água (SILVA, 2001). Comida em excesso acaba não sendo ingerida pelos peixes, aumentando os níveis de matéria orgânica na água, o que pode desequilibrar o sistema. A concentração de oxigênio também irá variar após o arraçamento, e para que não tenha uma grande variação, deve-se dividir a alimentação em várias vezes ao dia. Isso, porém, demanda tempo e cuidados muito maiores

Para que ambos, plantas e peixes vivam de maneira saudável no ambiente criado, é necessário manter bons níveis de oxigenação da água. Por isso o sistema de recirculação da água deve ser construído de forma a transferir oxigênio para a água dos tanques. Tal processo é normalmente realizado através de sopradores de ar e difusores, já que não existem no sistema vegetais capazes de adicionar oxigênio através da fotossíntese na água (KUBITZA, 2006). Além disso, cada tipo de cultivo de peixes requer parâmetros diferentes, tanto em relação à temperatura e pH da água quanto à quantidade de comida ingerida (BRAZ FILHO, 2000; SÁ, 2012).

2.2 Automação

O termo “automação” tem origem do latim *automatus*, que significa mover-se por si só e define uma característica da humanidade - a busca por tornar processos autônomos, ou seja, livres da intervenção do homem. De acordo com Dorf et al. (2001) tal processo é evidenciado desde a antiguidade, com registros de aplicações em reservatórios de água e em lampiões no século 3 a.C. Em uma análise mais moderna, temos que automação é uma prática comum na indústria e consiste na técnica de utilizar dispositivos mecânicos, eletrônicos e computacionais para controlar processos antes realizados pelo ser humano. Os principais objetivos desta substituição de mão de obra são a redução de custos, ganho em precisão, ganho em eficiência e produtividade, ciclos contínuos de trabalho mais longos, livrar o operador de exercer atividades de risco ou monótonas.

Um sistema autônomo é um sistema de controle de processos que usa os próprios mecanismos para avaliar o seu funcionamento, efetuando medições e possíveis correções ao processo para minimizar a interferência do operador. Lacombe (2004) afirma que a automação também pode ser vista como um conjunto de técnicas que podem ser aplicadas sobre um processo com o objetivo de torná-lo mais eficiente em diversos aspectos, tais como consumo energético, uso de recursos e redução do tempo de operação.

2.2.1 Smart Farming

Um setor que vem tendo avanços mais recentes no âmbito da automação é o setor agrícola. Inicialmente houve o ‘boom’ da mecanização e da chamada “revolução verde”, momento em que o cultivo de alimentos e grãos passou a ser tratado como um simples processo industrial (PRIMAVESI, 2003). Coloca-se insumos de um lado (sementes, fertilizantes químicos e agrotóxicos), máquinas processam estes insumos, e do outro lado saem os produtos (grãos, hortaliças, etc). Esta técnica, porém, tem sido alvo de inúmeros estudos que atestam a degradação do solo, fauna e flora do ambiente cultivado, causando ineficiência a longo prazo e tornando os agricultores dependentes das empresas que dominam estes insumos e tecnologias (KAMIAMA, 2009; DAL SOGLIO, 2009).

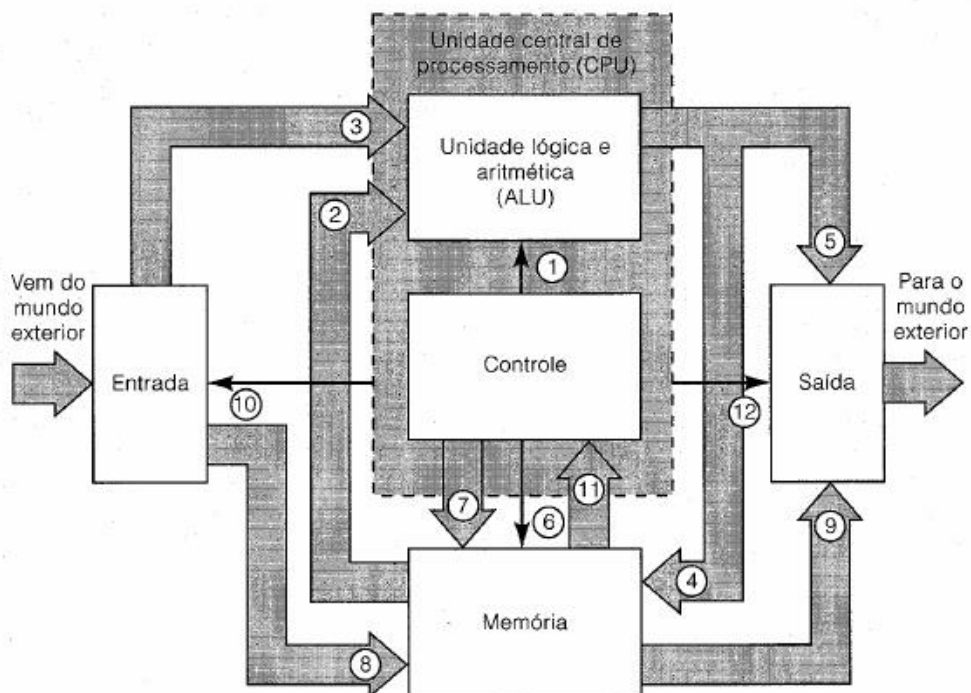
Com o aumento da conscientização da população global em relação a sistemas de produção sustentáveis e produção orgânica de alimentos, uma mudança neste sistema está germinando (BOLFE, 2018). Para atender o desejo dos consumidores, muitos sistemas de produção agrícola estão passando por transformações a fim de se tornar mais eficientes,

ambientalmente corretos mantendo um valor competitivo de mercado (Schmaltz, 2018). Segundo Halweil (2016) soluções para este problema vêm sendo chamadas de *smart farming* - agricultura inteligente em tradução livre - e envolvem técnicas de automação, robótica, sensoriamento, IoT, entre outros. Desta maneira é possível obter dados do ambiente de forma bastante granular a fim de manter o sistema em equilíbrio utilizando ações pequenas e locais tais como a adição de microdoses de nutrientes, supressão de uma espécie invasora ou o plantio de diversas culturas no mesmo espaço.

2.3 Microcontroladores

Segundo Ibrahim (2006) um microcontrolador é uma unidade computacional concebida dentro de um único chip e que é desenvolvido especificamente para aplicações de controle computacional embarcado. Estes dispositivos são majoritariamente de baixo custo e podem ser facilmente utilizados em aplicações de controle. Denardin (2010) fala que um microcontrolador é um sistema computacional completo, no qual estão incluídos uma CPU, memória de dados e programa, um sistema de *clock*, dispositivos de entrada e saída e, possivelmente, módulos de temporização e conversores analógico-digital.

Figura 4. Diagrama de Blocos de um microcontrolador.



Fonte: Denardin, 2010

O diagrama de blocos acima ilustra os componentes básicos de um microcontrolador e uma possível maneira de como se conectam. A unidade central de processamento (CPU) é composta por uma unidade lógica aritmética, uma unidade de controle, registradores e uma fonte de *clock* - sinais de relógio usados para coordenar as ações da CPU. Esta unidade está conectada à memória, que armazena tanto dados como instruções de programa, e também aos dispositivos de entrada e saída.

Os dispositivos de entrada são responsáveis por fornecer informações vindas do mundo externo para a CPU. em microcontroladores, essas entradas costumam ser de dois tipos, digitais ou analógicas. Sinais digitais representam os níveis lógicos '0' e '1' e estão associados a níveis de tensão GND e VDD respectivamente. Já os sinais analógicos utilizam outros níveis de tensão, que fogem da representatividade binária dos sinais digitais e, portanto, devem ser traduzidos para poderem ser utilizados pela CPU. Esta tradução é feita através do conversor analógico digital (ADC) que discretiza os valores da tensão de entrada e mapeia a sua intensidade em uma palavra de determinados bits.

Os dispositivos de saída são usados pelo microcontrolador para informar ou agir, no mundo exterior com base no que foi processado pela CPU. Estas saídas podem assumir valores binários mapeados para VDD e GND ou assumir valores analógicos quando fazem o uso de um conversor digital-analógico (DAC). Isso é feito pegando um certo valor em binário e o convertendo para uma tensão, que será mapeada entre GND e VDD.

2.6.1 *System on Chip*

Com o avanço da tecnologia, redução de custos e miniaturização de componentes, cada vez mais funcionalidades foram sendo integradas em um mesmo chip e incluindo dispositivos que muitas vezes estariam dispostos separadamente em placas convencionais. Surge então o conceito de *System on Chip* (SoC) para tratar desta gama de microcontroladores altamente integrados e que praticamente não necessitam de periféricos para funcionar. De acordo com Brás (2002), o objetivo principal do desenvolvimento de um SoC é maximizar o desempenho e reduzir o tempo até a sua comercialização. Esta nova geração de *chips* vem dominando o mercado, principalmente graças à integração de conectividade sem fios, como o WiFi, e ao ganho em performance, que possibilitou o uso dos SoC em aplicações antes não imaginadas (Ivkovic, 2017).

2.4 Protocolos de Comunicação

Segundo Kurose (2012), protocolos de comunicação definem o formato, a ordem e como são tratadas as informações transmitidas entre duas ou mais em um meio físico. Normalmente, um protocolo de comunicação define regras, sintaxe, semântica, formas de sincronização e correção de erros. Protocolos de comunicação estão por toda a parte, e permeiam todas as interações entre os mais diversos componentes eletrônicos. Hughes (2015) afirma que por trás de toda a comunicação digital, os dados são passados com valores binários de forma serial ou paralela e o meio em que ela ocorre pode ser através de fios ou pelo ar.

Para se comunicar, um dispositivo precisa ter acesso a um meio de transmissão e emitir sinais para que do outro lado outro dispositivo possa receber e decodificá-los. As características deste sinal e a forma de interpretá-lo deve ser de comum conhecimento entre os dispositivos. Para Stallings (2006), fica claro que para que a comunicação aconteça, deve haver um alto grau de cooperação entre os elementos comunicantes e é por isso que esta informação é agregada na forma de protocolos de comunicação. O autor ainda comenta que, tipicamente, protocolos de comunicação definem todos ou alguns dos seguintes itens:

- Tipo de meio de transmissão - Formas eficientes de uso do meio e propriedades do sinal utilizado.
- Sincronização e Temporização - Características temporais dos sinais e como se espera que eles interajam, para não haver conflitos.
- Formatação de dados - O que cada *bit* ou *byte* da mensagem representa.
- Formas de endereçamento - Como será informado o endereço de destino da mensagem.
- Roteamento - Informações passadas aos sistemas intermediários, quando a conexão não é direta entre apenas dois dispositivos.
- Detecção de erros - Maneiras de detectar erros e recuperá-los quando dados forem corrompidos durante a transmissão.
- Controle de fluxo - Formas de manter a comunicação entre os sistemas consistentes.

Com a evolução da computação e dos sistemas de informação, protocolos, que antes eram conjuntos de regras simples destinados a comunicações locais e de baixa velocidade, agora são encarregados de transmissões em topologias de rede complexas, a altas velocidades e interagindo com uma grande quantidade de elementos. Por esta razão, certos tipos de comunicação passaram a ser regidos não mais por um protocolo somente e sim uma pilha de protocolos, onde cada um está relacionado a um subconjunto das funções necessárias para a

comunicação. Assim, o protocolo de uma camada depende de funções mais primitivas da camada inferior e fornece serviços para a camada superior, ao mesmo tempo que esconde certos detalhes técnicos entre ambas. Um grande benefício desta abordagem é o isolamento e a capacidade de alterar uma camada sem prejudicar as demais, o que auxilia bastante na maturação e evolução dos protocolos.

2.5 IHC

A Interação Humano-Computador (IHC) diz respeito aos estudos sob o ponto de vista do design, da avaliação e implementação dos sistemas computacionais interativos, tendo como ponto central o ser humano e a relação homem-computador. O objetivo é gerar conhecimentos que permitam a produção de sistemas com melhor usabilidade, mais efetivos, úteis, seguros e funcionais.

O surgimento desta nova área de pesquisa é decorrente das diversas inovações tecnológicas computacionais iniciadas a partir da década de 1980, como por exemplo reconhecimento de voz, novas formas de visualizar a informação e a realidade virtual. Os estudos nesta área abrangem o ser humano com todas suas possibilidades e limitações. Fatores como: saúde, relações sociais e interpessoais, práticas de trabalho e a interferência desses fatores no sucesso ou fracasso na utilização dos sistemas computacionais. (ROCHA; BARANAUSKAS, 2003).

Segundo (PREECE et al., 2005) IHC descreve um campo de estudo de caráter multidisciplinar, que pode envolver a interação de programadores com especialistas de áreas como a psicologia, ergonomia, linguística, sociologia, artes, design, e áreas afins. A IHC deve considerar todos os sujeitos da interação: usuário, sistema, desenvolvedor e ambiente que se encontra o sistema para que, através da análise de diferentes pontos de vista, possa fornecer explicações e previsões de como deve se comportar o sistema.

Nielsen (1993) afirma que a diferença de perfil entre usuários traz elevada complexidade na análise das evidências relacionadas a eles, visto que cada usuário tem sua forma própria de interagir com o seu entorno. As diferentes formas de percepção, comparação, decisão e execução dos perfis de usuários diferentes resulta em conjuntos de informações únicas que interferem diretamente no design das GUIs (PREECE et al., 2005; CYBIS et al., 2007). Por esta razão é importante definir o perfil do público alvo o melhor possível, principalmente em

termos de idade, gênero, habilidades físicas, habilidades cognitivas, educação, cultura, motivações, localização e classe econômica (PREECE et al., 2005; SHNEIDERMAN et al., 2005).

Junto a estas características, também é importante entender as habilidades dos usuários e sua familiaridade com a interface a ser utilizada. Após determinar o perfil do usuário, é necessário identificar quais as tarefas serão disponibilizadas para o usuário. O mapeamento adequado das tarefas é muito importante pois, do contrário, acaba frustrando os usuários e fazendo com que a interface seja subutilizada. Não importa o quão bem feito seja o design da interface, se as funcionalidades forem definidas incorretamente, o usuário não a utilizará (SHNEIDERMAN et al., 2005).

Rocha e Baranauskas (2003) sugere quatro princípios para o design de uma boa IHC:

- Visibilidade e *affordances* - Apenas as coisas necessárias devem estar visíveis e os resultados das operações também devem ser facilmente identificados. As propriedades dos objetos da interface devem ser facilmente inferidas pelo usuário, sem a necessidade de rótulos ou explicações.
- Bom modelo conceitual - Permite que o usuário preveja o efeito de suas ações sem ter que operar cegamente a interface para descobrir suas funcionalidades.
- Bons mapeamentos - O usuário deve compreender o funcionamento dos objetos e os resultados das suas interações na interface facilmente, estabelecendo mapeamentos cognitivos naturais.
- *Feedback* - O usuário deve receber informações de retorno sobre as ações que realizou para que possa comprovar se o resultado foi o esperado ou se ocorreu algum erro.

2.6 Usabilidade

O conceito de usabilidade está ligado a quão bem os usuários podem exercer os objetivos propostos do sistema, sem que tenham que fazer grande esforço para se adequar aos requisitos do sistema (Andrade, 2007). Em outras palavras, é a capacidade de um produto de ser facilmente usado (ISO 2941). Para Preece et al. (2002) existem seis metas que norteiam o desenvolvimento de um sistema com alta usabilidade: eficácia de uso, eficiência de uso, segurança de uso, boa utilidade, facilidade de aprendizado e facilidade de lembrar como usar.

Para avaliar a usabilidade de ambientes virtuais, Nielsen (1993) propôs 10 heurísticas com o intuito de evitar os erros mais comuns. São elas:

1. Visibilidade do status do sistema: A interface deve fornecer aos usuários um *feedback* adequado sobre o estado atual do sistema.
2. Compatibilidade do sistema com o mundo real: A comunicação deve ser feita na linguagem do utilizador, usando termos e conceitos familiares a ele e organizada de forma lógica em consonância com os padrões habituais do mundo real.
3. Controle do usuário e liberdade: os usuários devem se sentir confortáveis na sua interação, devendo experimentar o sistema em dificuldades e medos.
4. Consistência e padrões: ao longo da utilização da aplicação, deve se manter consistência e padronização para todos elementos de *layout*, cores, ícones, menus, terminologia e mensagens.
5. Ajuda aos usuários a reconhecer, diagnosticar e se recuperar de erros: As mensagens de erro devem dizer aos usuários como proceder frente a um erro e não deixá-los mais confusos.
6. Prevenção de erros: Deve-se identificar as áreas mais problemáticas da aplicação através de testes e redesenhá-las para comunicar as ações dos usuários com mais clareza.
7. Reconhecimento em vez de memorização: Não se pode exigir que os utilizadores dependam da memória para navegar na interface, por isso ícones, ações e opções devem ser o mais familiares possível.
8. Flexibilidade e eficiência de uso: o sistema deve ser fácil e eficiente para uso por usuários novatos ou especialistas, por isso deve-se pensar em formas que permitam que o usuário navegue de forma mais eficiente conforme ganha experiência.
9. Estética e design minimalista: manter o *layout* simples, evitando exibir informações excessivas e elementos de design redundantes.
10. Ajuda e documentação: A documentação de ajuda e suporte deve ser de fácil localização e com instruções fáceis de seguir.

A partir daí, pode-se avaliar se a interface está ou não em conformidade com essas heurísticas, buscando identificar possíveis problemas de design. Foi demonstrado que, utilizando avaliações heurísticas, até mesmo avaliadores inexperientes conseguem descobrir problemas graves na interface (Baker et al., 2002).

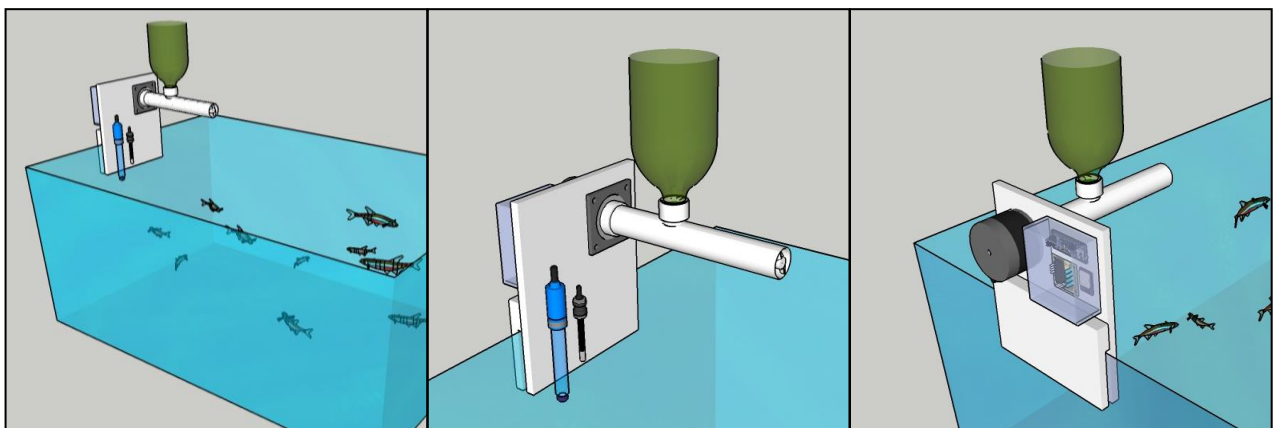
3. PROPOSTA

A partir do referencial teórico apresentado, torna-se possível discorrer sobre as especificidades do projeto aqui proposto - o desenvolvimento de um alimentador inteligente para sistemas de aquaponia.

Propõe-se a criação de um dispositivo capaz de monitorar os parâmetros mais relevantes da qualidade da água para então calcular a quantidade adequada de ração para os peixes. Dessa forma é possível evitar problemas de nutrição dos peixes e reduzir o excesso de matéria orgânica na água, que pode facilmente desestabilizar o sistema. A ração será dispensada através de um alimentador mecânico automático que também será desenvolvido e terá a capacidade de liberar pequenas quantidades de comida diversas vezes ao dia.

Além disso, com o intuito de auxiliar ainda mais o produtor, o Alimentador Microprocessado lhe permitirá fazer um melhor acompanhamento do sistema de aquaponia e até receber alertas caso alguma ação precise ser tomada. Por isso, o dispositivo proposto contará com interface de usuário com acesso às leituras em tempo real, histórico de medidas disposto em gráficos e também sugestões sobre os cuidados e ações que devem ser executados.

Figura 5. Detalhes do alimentador inteligente a ser desenvolvido.



Fonte: Autor

3.1 Motivação

A partir da exploração do problema, percebe-se que diversas variáveis contribuem para o correto funcionamento de um sistema de aquaponia, entre eles: pH, temperatura, amônia, oxigênio dissolvido, salinidade e biomassa dos peixes. Normalmente, esse acompanhamento é feito diariamente de forma manual pelo produtor, que deve medir diversos parâmetros do sistema, consultar tabelas e fazer cálculos. Este processo requer um grande conhecimento inicial e tempo despendido, além do investimento no aparato necessário para realizar as medições.

Este trabalho tem como objetivo auxiliar o produtor por meio do desenvolvimento de um dispositivo que facilite o seu dia a dia. Reduzindo sua carga de trabalho ao mesmo tempo em que aumenta a sua confiança no sistema, visto que ele terá a certeza de que o seu sistema estará sendo monitorado 24h por dia.

3.2 Público Alvo

O público alvo deste dispositivo é o pequeno produtor em aquaponia, produtores iniciantes ou amadores. Para esse público o valor final do produto deve ser baixo e o consumo energético mínimo pois, do contrário, não haveria retorno do investimento.

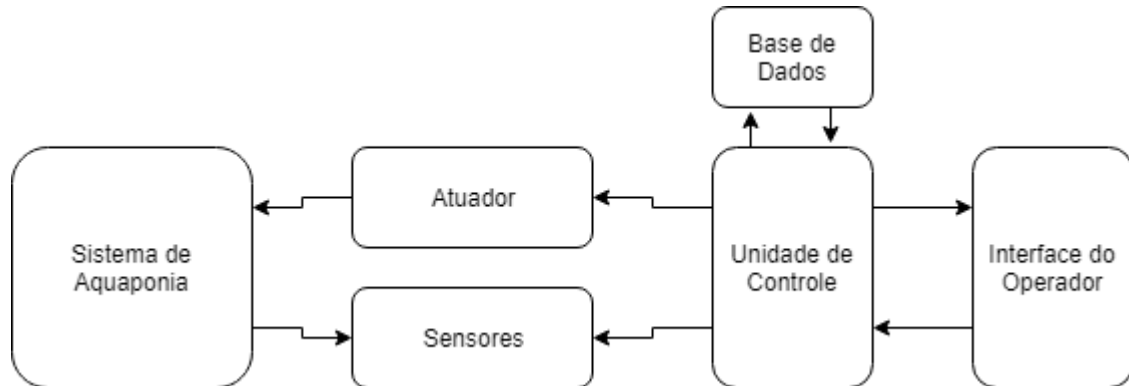
3.3 Arquitetura

O projeto proposto busca desenvolver um alimentador inteligente para sistemas de aquaponia que seja capaz de simplificar e auxiliar o dia a dia do seu usuário - o produtor. Para tanto, o sistema desenvolvido deve ser capaz de aferir parâmetros de qualidade da água relevantes e acionar o atuador responsável por controlar a alimentação dos peixes. Como o objetivo do alimentador também é de monitorar e fornecer dados úteis para o produtor, esse deve ser capaz de armazenar seus estados e suas aferições de alguma maneira, isso será feito com o auxílio de uma base de dados e do armazenamento dos dados em uma unidade de memória não volátil.

Por ter como público alvo o pequeno produtor e o iniciante, a interface deve ser clara, intuitiva e informativa, a fim de facilitar o seu uso. O sistema desenvolvido também deve ser de baixo custo e utilizar peças e componentes facilmente disponíveis no mercado, com a finalidade de tornar o custo de aquisição do produto e sua posterior manutenção acessíveis para

a maioria dos proprietários de sistemas de aquaponia. Como consequência do que foi apontado acima, uma importante decisão de projeto foi a de utilizar um *smartphone* para o controle do alimentador, reduzindo dessa forma os custos envolvidos em desenvolver um *hardware* próprio para a interface e também aproveitando a familiaridade do celular para o usuário comum.

Figura 6: Diagrama da arquitetura proposta neste trabalho



Fonte: Autor

3.4 Engenharia de Requisitos

No processo de desenvolvimento de um novo sistema computacional, a fim de melhor delinear a solução, é muito importante realizar o levantamento dos requisitos envolvidos. Segundo Sommerville, I (2007) “Os requisitos de um sistema são as descrições do que o sistema deve fazer, os serviços que oferece e as restrições a seu funcionamento [...] refletem as necessidades dos clientes para um sistema que serve a uma finalidade determinada [...]”. Uma classificação bastante comum na engenharia de requisitos é a separação dos requisitos em funcionais e não funcionais. Esta será a classificação adotada para descrever o projeto proposto por este trabalho.

Requisitos funcionais de um sistema descrevem os serviços que o sistema deve oferecer, como deve se comportar em determinadas situações e qual sua reação a entradas específicas. Para o projeto proposto, temos os seguintes requisitos funcionais:

- Monitorar o pH da água;
- Monitorar a temperatura da água;
- Alimentar os peixes diariamente, mais de uma vez ao dia;
- Calcular a quantidade de ração automaticamente com base nos sensores;

- O sistema deve disponibilizar o histórico das aferições na forma de gráficos para o usuário;
- O sistema deve disponibilizar o histórico dos horários em que os peixes foram alimentados e a quantidade de comida liberada;
- O intervalo entre as amostras deve ser constante e configurável;
- O sistema deve aceitar configurações para se adequar ao sistema de aquaponia que será utilizado (tamanho do tanque, tipo de peixes, quantidade de peixes, tipo de ração).

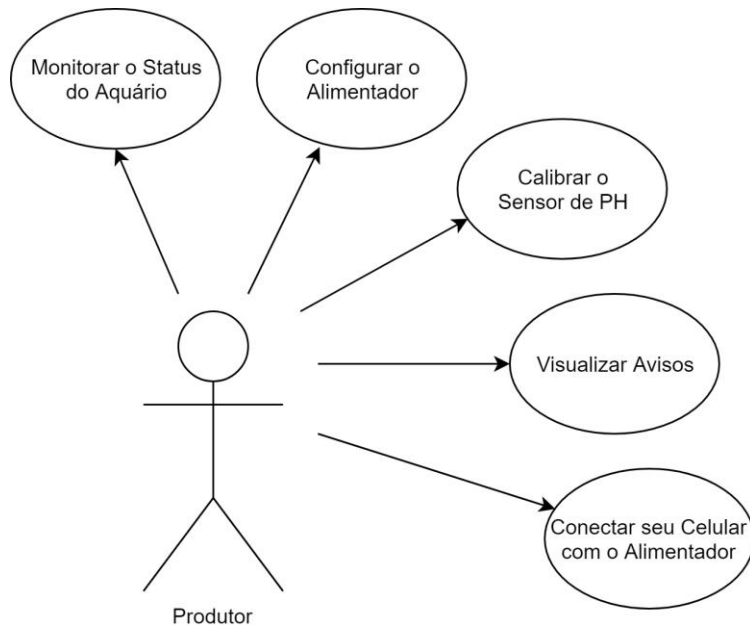
Requisitos não funcionais são as restrições inerentes ao próprio sistema e não ao que ele deve executar. Essas restrições estão relacionadas à qualidade do serviço oferecido pelo sistema, e estão associadas a propriedades como confiabilidade, custo, escalabilidade e consumo. Para o projeto proposto, temos os seguintes requisitos não funcionais:

- A interface de usuário deve ser executada em *smartphones* Android.
- A interface de usuário deve ser clara e intuitiva, sem exigir treinamento prévio do usuário final.
- A comunicação entre a unidade de controle e a interface de usuário deve ser através de uma tecnologia sem fio;
- O sistema deve ser de baixo custo;
- O sistema deve empregar protocolos e tecnologias conhecidas;
- O sistema deve ser de baixo consumo energético;
- O sistema deve ter controle preciso da passagem do tempo;
- O sistema deve ser resistente a respingos e a umidade.

3.5 Casos de Uso

De acordo com Sommerville, I (2007), casos de uso são uma técnica de descoberta de requisitos muito utilizada em engenharia de software, em sua forma mais simples, identifica os atores envolvidos e dá nome aos tipos de interações que realizam. Para o projeto proposto, foi realizado o levantamento dos casos de uso, para melhor compreender como será a sua implementação. A figura 7 apresenta os diagramas de casos de uso do projeto, utilizando a linguagem UML (*Unified Modeling Language*).

Figura 7: Diagrama de casos de uso

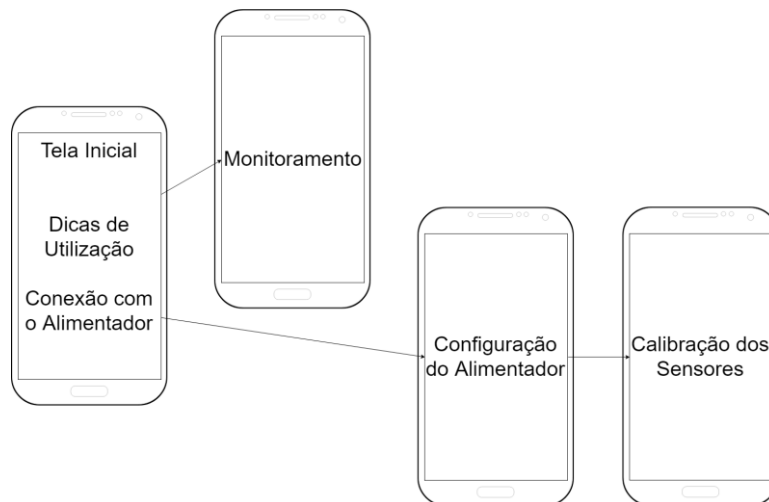


Fonte: Autor

3.6 Interface

Nesta seção será apresentada a interface na qual o usuário deverá utilizar para interagir com o sistema. A partir do mapeamento dos casos de uso, foi possível determinar os tipos de interação necessária entre o usuário e o sistema proposto. Estas ações são de conexão, configuração, monitoramento e também para que o produtor aprenda a utilizar a ferramenta, e por isso foram estruturadas em diferentes telas conforme a figura 8.

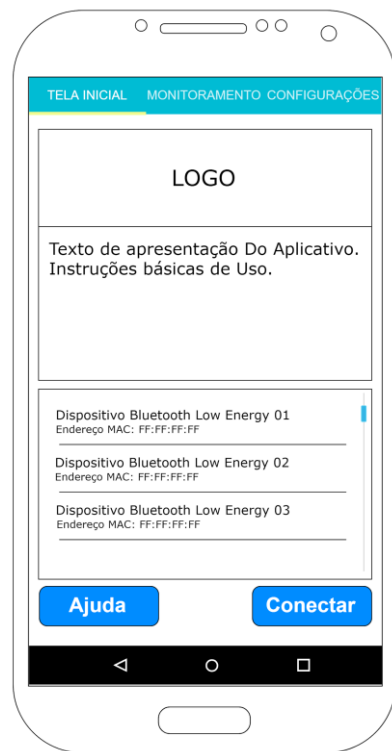
Figura 8: Hierarquia de telas



Fonte: Autor

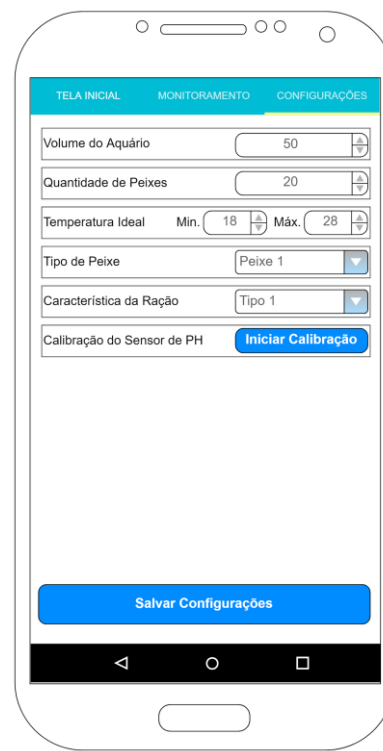
Após abrir o aplicativo, será exibida a tela inicial como mostra a figura 9, onde estarão dispostos: logo do projeto, descrição sobre a finalidade do sistema, descrição sobre os principais usos do aplicativo e também a listagem dos dispositivos próximos compatíveis encontrados. Além disso, um botão de ajuda ficará na parte inferior da tela que, ao ser clicado, irá abrir um texto sobreposto à tela com um tutorial de como utilizar o aplicativo e como instalar o alimentador. Abaixo da listagem dos dispositivos próximos haverá um botão para conectar com o dispositivo selecionado. Se o dispositivo conectado for um alimentador nunca configurado, a interface irá pular para a tela de configuração (figura 10), do contrário irá para a tela de monitoramento (figura 11).

Figura 9: Proposta de tela inicial



Fonte: Autor

Figura 10: Proposta de tela de configuração



Fonte: Autor

Na tela de configuração, o usuário poderá inserir as características do seu sistema de aquaponia, como volume do aquário, tipo, quantidade de peixes, etc. Essas características serão utilizadas pelo alimentador para definir a quantidade de ração ideal diária. Nesta tela, o usuário também poderá efetuar a calibração dos sensores utilizados.

Na tela de monitoramento o usuário terá uma visão geral do funcionamento do seu sistema de aquaponia. Na parte superior da tela fica um alerta seguido de sua descrição. O alerta pode assumir 3 cores, verde, amarelo e vermelho e varia conforme a situação em que se encontra o sistema. Logo abaixo é exibido um gráfico que registra a atividade do sistema com a leitura

dos sensores e os horários das refeições realizadas. Abaixo do gráfico, são exibidas as leituras atuais dos sensores, bem como a quantidade de comida calculada para o dia. Por fim, são exibidos os próximos alarmes programados no sistema, esses podem se referir ao próximo horário de alimentação dos peixes e também a possíveis ações que o operador precisa executar, como calibrar periodicamente os sensores, por exemplo.

Figura 11: Proposta de tela de monitoramento

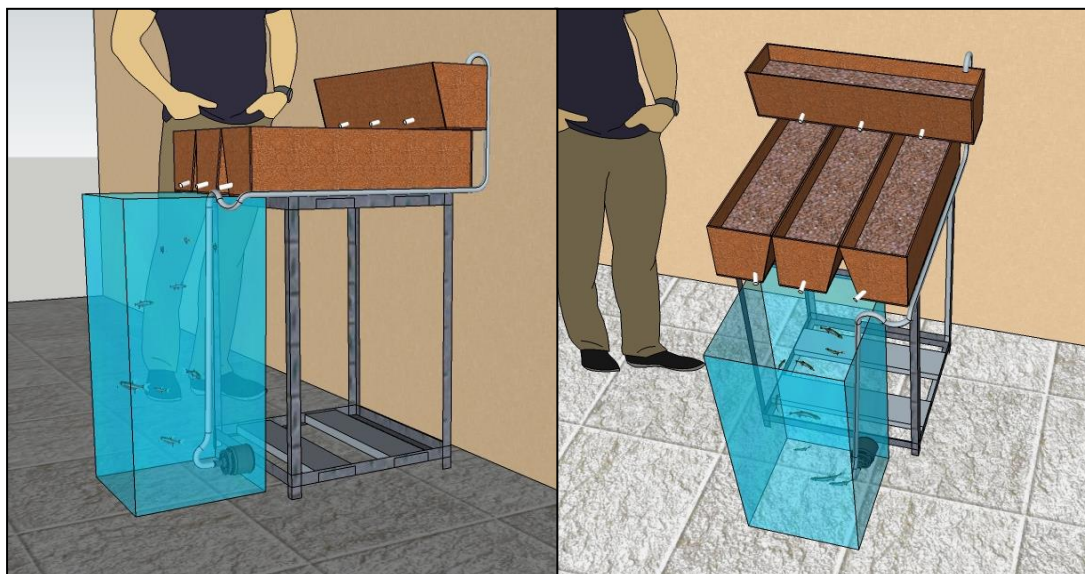


Fonte: Autor

3.7 Sistema de Aquaponia

Para que seja possível testar a funcionalidade do Alimentador, será desenvolvido também um pequeno sistema de aquaponia doméstico que conterà peixes ornamentais e algumas hortaliças. O projeto e dimensionamento do sistema foi realizado com o auxílio de um médico veterinário especializado em aquaponia e utilizou materiais disponíveis e de baixo custo. Um esboço de como será sua implementação se encontra na figura 12.

Figura 12: Vistas do sistema de aquaponia que será utilizado



Fonte: Autor

3.8 Considerações Finais

Neste capítulo foi abordada a proposta do sistema a ser construído juntamente com a sua especificação. Foram usadas técnicas de engenharia de requisitos, diagramas de casos de uso e prototipagem de interfaces para auxiliar no processo de desenvolvimento do sistema. No próximo capítulo será detalhada a implementação do sistema em detalhes e referenciando os componentes do sistema e as tecnologias usadas para sua construção.

4 TRABALHOS RELACIONADOS

Tanto no meio acadêmico quanto no meio comercial, existem diversas propostas que buscam solucionar os problemas relacionados à alimentação dos peixes por meio de automatizações. Porém, a vasta maioria dos trabalhos são dedicados aos cultivos de aquacultura apenas e não à aquaponia, em que o problema do excesso de ração na água é bem mais crítico para o sistema, como afirma Somerville, C (2014). Por esta razão, quando se trata de automatizar o processo de arração dos peixes, raramente leva-se em conta os parâmetros que definem o metabolismo dos peixes ou a toxicidade da água em um dado momento. Além disso, também não foi encontrada solução comercial com a proposta de auxiliar pequenos produtores integrando as facilidades de um alimentador automático com uma interface que proporcione aprendizado e monitoramento, como é o proposto neste trabalho.

Nos trabalhos de Nirwan et al. (2017) e Uddin et al. 2016 foram desenvolvidos alimentadores automáticos com o propósito de poupar tempo do operador através da configuração prévia do intervalo entre as refeições e quantidade distribuída.

Yeoh et al. (2010) fizeram um trabalho similar, porém voltado para a indústria de aquicultura. O princípio de funcionamento é o mesmo, regula-se o volume e o intervalo da ração a ser distribuída nos tanques e um atuador é acionado para liberar a quantidade adequada. Uma diferença importante neste trabalho é o desenvolvimento de um mecanismo alimentador com mais regulagens em termos de tamanho dos grãos de ração e raio de ação no qual o alimento será distribuído.

Em uma abordagem diferente para solucionar o mesmo problema, Atoum et al. (2015) desenvolveram um sistema baseado em processamento de imagem, onde uma câmera é posicionada de forma a visualizar a superfície do tanque dos peixes. Com base nas imagens adquiridas, uma unidade de controle conta a quantidade de ração flutuante e decide se há ou não alimento disponível para os peixes. Como soluções comerciais, pode ser citado o produto *Fish Feeder Pro* da empresa holandesa Velda, que apresenta uma solução robusta para a alimentação automática dos peixes permitindo a programação da quantidade de comida e o número de acionamentos diários.

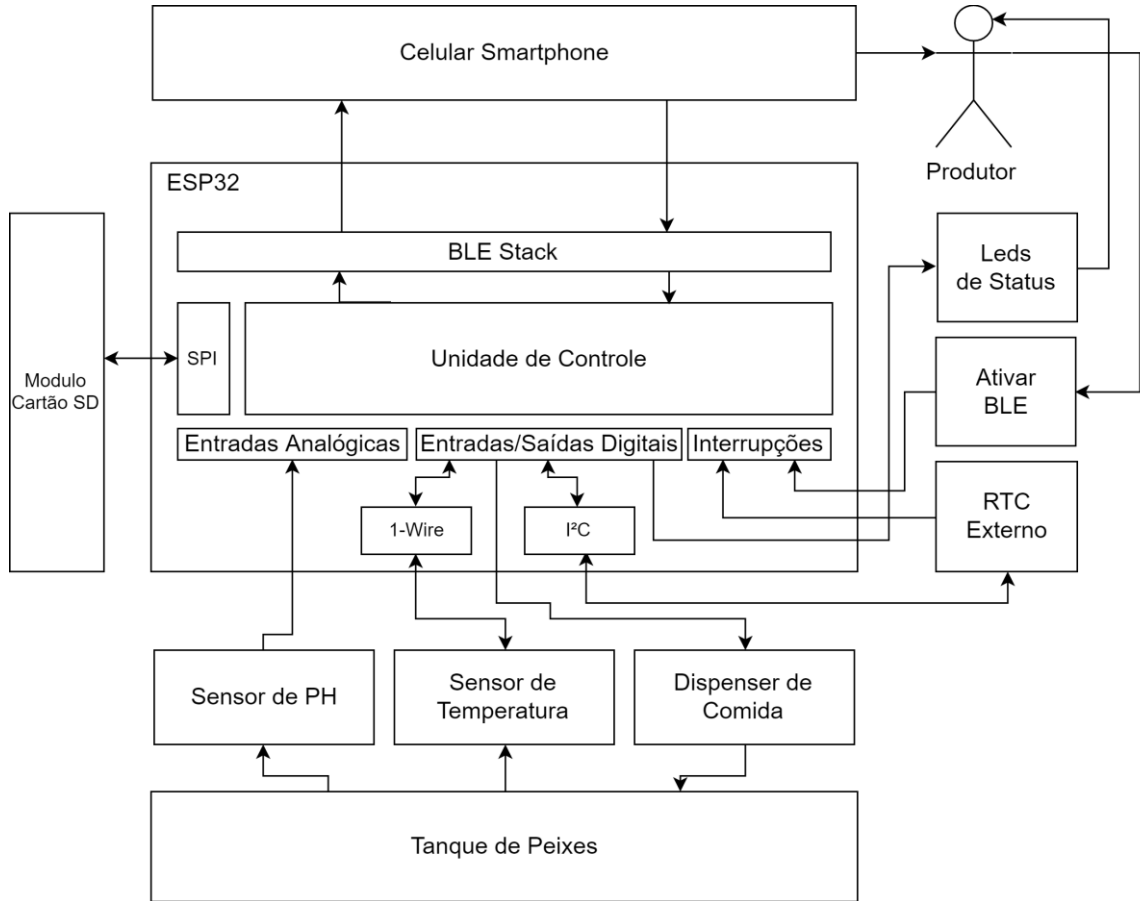
Partindo para o nicho específico de aquaponia, recentemente foi lançado o *Open Aquarium*, desenvolvido pela empresa Libelium e que propõe uma plataforma de hardware e software aberta com interface para diversos sensores de qualidade da água e atuadores, como um aquecedor e um dispensador de comida. Este produto, porém, não acompanha nenhum software específico para que o sistema funcione como um alimentador automático ou execute o monitoramento do aquário - isto fica a cargo do usuário e suas próprias habilidades de desenvolvimento de software. Por fim, Finkelstein (2018) propõe um sistema de monitoramento para sistemas de aquaponia, utilizando sensores de qualidade da água e apresentando dados de monitoramento importantes para o usuário, mas que não apresenta solução para alimentar os peixes.

5. IMPLEMENTAÇÃO

Para implementar o sistema proposto e atender as características e os requisitos expostos na seção anterior, os componentes de *hardware* utilizado deverão ser selecionados e os

componentes de *software* desenvolvidos. Para definir estes componentes foram feitas pesquisas e comparações dos principais aspectos que definem o funcionamento do sistema e seus requisitos, a figura 13 ilustra em mais detalhes o resultado desse processo.

Figura 13: Esquema da arquitetura do sistema a ser implementado.



Fonte: Autor

Inicialmente a implementação foi pensada utilizando a placa de desenvolvimento Arduino, que seria responsável por gerenciar os sensores e o atuador do alimentador associada à uma placa ESP-8266 para realizar a comunicação com o celular por WiFi. Essa configuração havia sido escolhida pois utilizar apenas o ESP-8266 não seria possível por faltarem parte das entradas e saídas necessárias ao projeto e também utilizar apenas o Arduino impossibilitaria a interface sem fios com o celular. Esta abordagem, porém, foi alterada devido a diversos problemas. O Arduino opera com níveis lógicos 5v enquanto o ESP-8266 opera com 3,3v, então seria necessário incluir no projeto algum tipo de conversor de níveis lógicos. Além disso seria necessário programar 3 dispositivos distintos e a comunicação entre eles, dificultando o projeto.

A solução para os problemas apresentados na hipótese de implementação citada acima foi a substituição das placas Arduino e ESP-8266 pelo ESP32, que alia comunicação sem fio com múltiplas interfaces de entrada e saída. Nas seções seguintes será explorada em mais profundidade o ESP32 e também os demais componentes escolhidos para compor o sistema relatando a implementação de cada um. Os protocolos, *frameworks* e linguagens utilizados na produção do *software* também serão abordados.

5.1 Sensores de qualidade da água

O projeto contará com os sensores de temperatura e pH, considerados os mais importantes para o monitoramento e cálculo de ração dos peixes. Além disso, utilizar sensores para os demais parâmetros tornaria o conjunto muito caro, contrariando um dos objetivos, que é ser um sistema de baixo custo. A medição da amônia tóxica, que também é importante no controle do sistema, mas que não necessita de acompanhamento diário, como afirma Sallenave (2016) e por isso ficará a cargo do produtor em uma frequência semanal. Sallenave (2016) também afirma que os níveis de oxigenação da água, embora cruciais para os peixes, não são um grande problema em sistemas de aquaponia doméstico ou de pequena escala e se o sistema de circulação de água for adequadamente projetado, é pouco provável que os níveis de oxigênio da água saiam do normal.

5.1.1 Sensor de Temperatura

O sensor de temperatura é a peça fundamental para o funcionamento do alimentador pois a temperatura da água está diretamente relacionado com a regulação de todo o sistema pois afeta a atividade das bactérias nitrificantes, a absorção de nutrientes pelas plantas e o metabolismo dos peixes (SOMERVILLE, C 2014). Para aferir a temperatura corretamente o sensor DS18B20 foi selecionado pois é um sensor digital largamente aplicado na indústria e de baixíssimo custo.

A precisão deste sensor é de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ e a faixa de operação é de -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$. Para utilizar o DS18B20, basta que a unidade de controle possua uma entrada digital com nível lógico de 3.3v ou 5v e compatibilidade com o protocolo 1-Wire que será apresentado na seção 5.6.

Figura 14: Sensor de temperatura DS18B20



Fonte: Potential Labs³

5.1.2 Sensor de pH

O sensor de pH é muito importante para avaliar se o sistema de aquaponia está em equilíbrio e com níveis de acidez/alcalinidade adequados para sobrevivência dos peixes, plantas e micro-organismos (SOMERVILLE, C, 2014). As versões de baixo custo desse sensor são tipicamente formadas por um eletrodo e um amplificador operacional (*op-amp*). O eletrodo produz uma pequena diferença de potencial que varia conforme a acidez da solução em que esteja submerso que é amplificada pelo *op-amp* até uma faixa de tensão detectável por um conversor analógico-digital. O DFRobot SEN0161 é um bom exemplo deste tipo de sensor, sua faixa de operação é de pH 0 a 14 com resolução de ± 0.1 pH. Este tipo de sensor deve ser limpo semanal ou quinzenalmente e recalibrado tipicamente a cada 6 meses quando imerso em soluções aquosas próximas do pH neutro (DFROBOT, 2017).

Figura 15: Sensor de pH (eletrodo e placa amplificadora)



Fonte: Future Electronics⁴

3 Disponível em: <<https://potentiallabs.com/cart/image/cache/catalog/nov-dec/DS18B20-500x500-800x800.jpg>> Acesso em 12 de jun. de 2019

4 Disponível em: <<https://store.fut-electronics.com/products/ph-sensor-kit-analog>> Acesso em: 12 de jun. de 2019.

5.2 Atuadores (alimentador)

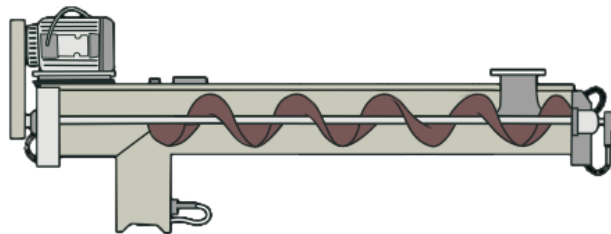
A função principal do sistema proposto é fornecer a quantidade correta de ração diária para os peixes. Idealmente essa tarefa deve ser realizada fracionando-se a dose diária de ração ao longo de vários momentos do dia, mantendo uma boa precisão no controle da quantidade liberada.

5.2.1 Rosca transportadora (Parafuso de Arquimedes)

Para atender este requisito foi selecionado o modelo de rosca transportadora (ou parafuso de Arquimedes). Comumente utilizada para o transporte de grãos na indústria agrícola, possui fácil implementação pois depende apenas de um motor conectado ao seu eixo. Quando utilizado com um motor de passo ou movimentado a uma baixa rotação, pode cumprir a tarefa de liberar quantidades precisas de ração. Este dispositivo possui as qualidades de ser simples, efetivo e de fácil implementação.

No projeto, implementação desse aparato é feita com o uso de um motor elétrico DC de 6v com redução de rotação 35:1 acoplado diretamente ao eixo da rosca transportadora. Para que o acionamento do motor possa ser feito utilizando a saída digital da unidade de controle, foi utilizado um transistor MOSFET para chavear a carga direto da fonte de alimentação. A quantidade de ração é calculada com base no tempo de acionamento do motor.

Figura 16. Vista em corte de um mecanismo de rosca transportadora.



Fonte: Adaptado de Worksafe⁵

⁵ Disponível em: <<https://manufacturing.worksafe.govt.nz/assets/Topic/Machinery/Screw-conveyors/manufacturing-screw-conveyors-figure-1.png>> Acesso em 13 de jun. de 2019.

5.3 Unidade de controle

De acordo com as necessidades e restrições do projeto, o hardware selecionado para a unidade de controle deve ser responsável por tratar as leituras dos sensores, calcular a quantidade de comida a ser distribuída, comandar os atuadores do alimentador, gerenciar os dados das leituras e ainda estabelecer uma comunicação sem fios com o aplicativo que estará sendo executado no smartphone.

5.3.1 ESP32

Para exercer este papel, buscando utilizar o menor número de componentes e optando por alternativas de baixo custo, foi selecionada a placa de desenvolvimento baseado no ESP32, um SoC moderno projetado para aplicações sem fio e de baixo consumo de energia. O ESP32 foi concebido em 2016 e é considerado o sucessor do bastante popular ESP8266, um dos primeiros SoC a integrar um microprocessador embarcado de alta performance e conectividade WiFi a um baixíssimo custo - menos de USD 2.00. Comercialmente, o SoC ESP32 é distribuído incorporado dentro do módulo ESP32-WROOM-32, que integra a ESP32, 4MiB de memória flash e uma antena na mesma placa de circuito impresso (Figura 17).

Figura 17: Módulo ESP32-WROOM-32



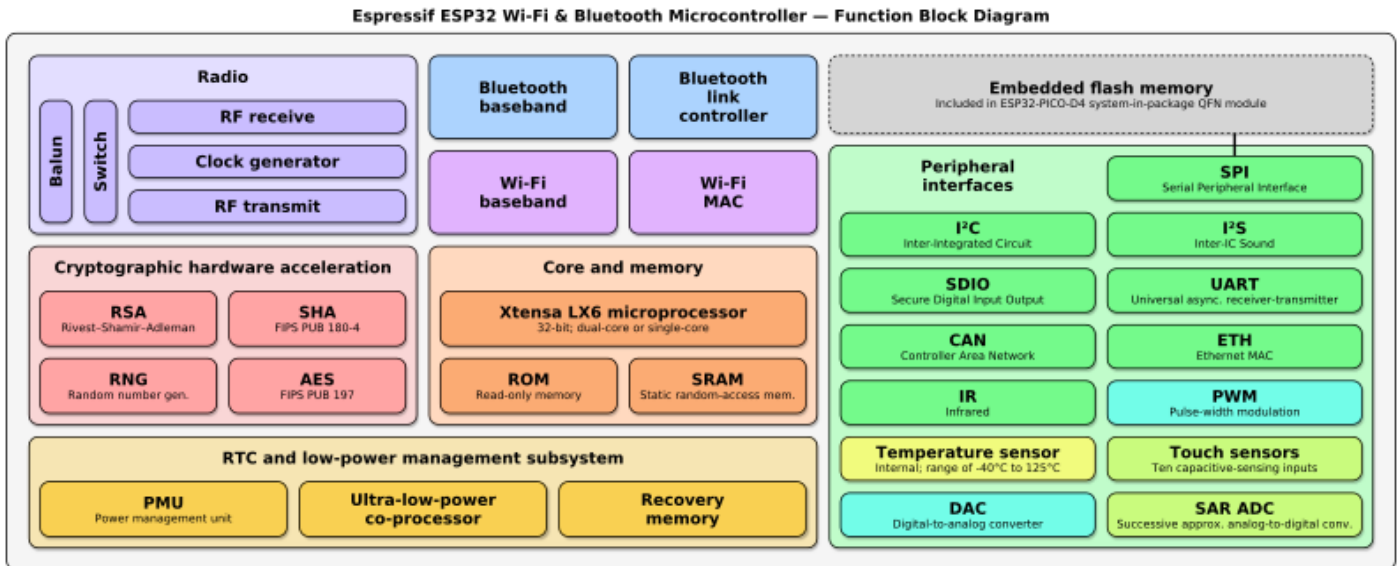
Fonte: Adaptado de Ht-deko⁶

Segundo o manual de referência técnica do ESP32 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2018), a arquitetura do SoC é altamente integrada, e composta por dezenas de componentes e periféricos tais como controladores Wi-Fi e Bluetooth, *hardware* dedicado para operações de criptografia, co-processador de baixo consumo, RTC interno, DACs, ADCs, entre tantos outros indicados

⁶ Disponível em: <<https://ht-deko.com/arduino/esp-wroom-32.html>> Acesso em: 13 de jun. de 2019

na figura 18. O microprocessador embarcado é o Xtensa LX6 da Tensilica, uma CPU dual core de 32-bits com 448KB de ROM, 520 KB de SRAM e capacidade de processamento de até 600DMIPS quando operando na frequência de 240MHz.

Figura 18: Arquitetura ESP32



Fonte: Wikimedia Commons, 2018

5.3.2 Periféricos

O ESP32 possui 34 pinos GPIO configuráveis através de lógica multiplexada para interface de uma vasta quantidade de aplicações. No total, os pinos do SoC são capazes de expor os seguintes periféricos:

Tabela 1: Relação de periféricos do ESP32

Quantidade Disponível	Interface	Descrição
34	Digital IO	Entrada e saída digital
18	ADC de 12 bits	Entrada de sinais analógicos
2	DAC de 8 bits	Saída de sinais analógicos
2	I2C	Interface de comunicação síncrona
3	UART	Interface padrão para comunicação serial
1	CAN	Interface padrão de comunicação veicular
4	SPI	Interface de comunicação serial síncrona
2	I2S	Interface de áudio digital
16	PWM	saída com modulação por largura de pulso

1	<i>Hall Sensor</i>	Entrada sensível à campos magnéticos
10	<i>Touch Sensor</i>	Entradas sensíveis a capacitância
8	IR	Interface de comunicação por infravermelho

Fonte: Espressif Systems, 2018

No trabalho proposto, serão utilizadas as interfaces *digital IO*, ADC, I2C e SPI, discutidas nas seções seguintes.

5.3.3 Conectividade Wireless

O SoC utilizado possibilita a conectividade wireless através de um módulo integrado de rádio na frequência 2.4 GHz e implementa os protocolos TCP/IP, 802.11 b/g/n WiFi e as especificações Bluetooth v4.2 BR/EDR e BLE. Esse último foi selecionado para realizar a comunicação entre a unidade de controle e o smartphone e seu funcionamento será descrito na seção 5.6

5.3.4 *Deep Sleep* e Interrupções

Desenvolvido para o uso em diversas aplicações de baixo consumo de energia e inclusive para dispositivos móveis, o ESP32 possui cinco modos de dormência que podem ser configurados dinamicamente, alterando drasticamente o seu consumo de energia. Esses modos ativam ou desativam certos recursos do SoC como rádio, processador principal e periféricos para atingir diferentes patamares energéticos (ESPRESSIF SYSTEMS, 2018). A tabela abaixo lista os modos de operação e suas características

Tabela 2: Modos de operação do ESP32

Modo	Recurso	Status	Recurso	Status
<i>Active</i>	Rádio	Ativado	Periféricos	Ativado
	CPU	Ativado	Coprocessador	Ativado
	Memoria RAM	Ativado	<i>Timer</i> RTC	Ativado
<i>Modem Sleep</i>	Rádio	Desativado	Periféricos	Ativado
	CPU	Ativado	Coprocessador	Ativado
	Memoria RAM	Ativado	<i>Timer</i> RTC	Ativado
<i>Light Sleep</i>	Rádio	Desativado	Periféricos	Desativado
	CPU	Pausado	Coprocessador	Ativado

	Memoria RAM	Pausado	Timer RTC	Ativado
<i>Deep Sleep</i>	Rádio	Desativado	Periféricos	Desativado
	CPU	Desativado	Coprocessador	Ativado
	Memoria RAM	Desativado	Timer RTC	Ativado
Hibernation	Rádio	Desativado	Periféricos	Desativado
	CPU	Desativado	Coprocessador	Desativado
	Memoria RAM	Desativado	Timer RTC	Ativado

Segundo o manual técnico (ESPRESSIF SYSTEMS, 2018), os modos *deep sleep* e *hibernation* são os de menor consumo de energia pois desativam todos componentes responsáveis pela comunicação sem fios e também o processador principal e seus periféricos. O fator negativo destes modos é que, por desabilitar totalmente o processador e as memórias e registradores ligados a ele, os dados e o contexto é perdido. No modo *light sleep* o processador principal é pausado através da técnica de *clock gating*, o que ajuda a reduzir o consumo sem que o contexto seja perdido e permite que este seja resumido novamente. No modo *deep sleep* o coprocessador permanece ativo e pode seguir executando aplicações de baixo consumo a um *clock* mais baixo de 8MHz e com comunicação I2C e entradas ADC.

Em todos os modos de consumo, são suportados eventos para acordar o dispositivo e retorná-lo à operação normal, porém cada modo permite apenas alguns tipos de eventos. Tais eventos podem ser originários de diversas fontes como do coprocessador, do timer RTC e interrupções externas. No modo *light sleep*, por exemplo, todos os eventos são suportados enquanto que no modo *hibernation* apenas as interrupções do timer e algumas entradas externas são suportadas.

No projeto do alimentador inteligente busca-se desenvolver um dispositivo de baixo consumo de energia a fim de possibilitar que esse tenha sua autonomia estendida quando conectado a uma bateria em casos de indisponibilidade da rede elétrica. Como as atividades do dispositivo se dividem entre realizar medições periódicas, acionar o atuador algumas vezes ao dia e gerenciar a interface do usuário algumas vezes durante a semana, existem muitos momentos ociosos que justificam que o sistema entre em estado de dormência. É por isso que o sistema utilizará o modo de operação *deep sleep* juntamente com o modo de operação normal,

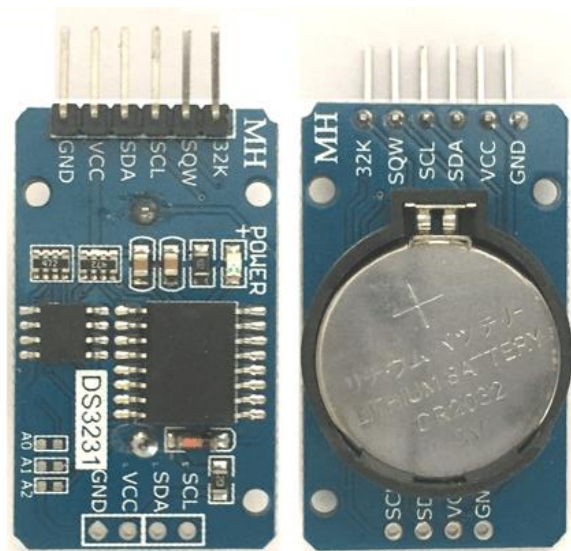
possibilitando economia de energia sempre que se estiver ocioso, mas também alto desempenho nos momentos de aferições ou de interação com o usuário.

5.4 RTC Externo

RTC é um acrônimo para *real time clock*, um componente capaz de contar a passagem do tempo com bastante precisão e ainda executar certas ações que lhe sejam programadas. Apesar do ESP32 possuir um RTC interno integrado, foi optado por utilizar um modulo RTC externo. O RTC Interno do ESP32 apresenta pouca precisão na contagem do tempo quando são utilizados os modos de baixo consumo de energia, pois suas fontes de *clock* principais são desativadas e o sistema fica dependente apenas de um *clock* de 150 MHz com precisão de ± 50000 ppm.

Para cumprir esta função, foi selecionado o módulo RTC DS3231 (Figura 19), que possui precisão de ± 5 ppm se operado à temperatura ambiente e ainda conta com uma bateria externa com autonomia de até 5 anos. Isso permitirá que o alimentador mantenha corretamente a referência de tempo mesmo quando estiver desconectado da rede elétrica, tornando o monitoramento do sistema mais confiável.

Figura 19: Modulo RTC DS3231



Fonte: Components 101⁷

⁷ Disponível em: <<https://components101.com/modules/ds3231-rtc-module-pinout-circuit-datasheet>> Acesso em: 12 de jun. de 2019.

Características do modulo DS3231 (MAXIM, 2015):

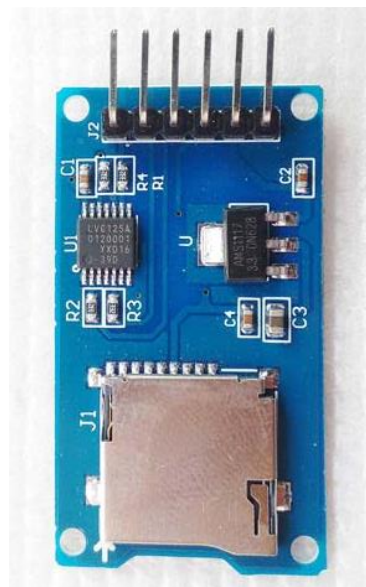
- Tensão de operação: 2,3 V a 5,5 V
- Consumo de corrente (máximo): 0,0005 mA
- Temperatura de operação: -45°C a +80°C
- Interrupções programadas a cada segundo, minuto ou hora
- Interface I2C
- Bateria CR2032

5.5 Módulo de Cartão SD

Para que o sistema possa realizar o monitoramento dos sensores e registrar os valores obtidos, é necessário utilizar algum tipo de memória não volátil. O módulo ESP32-WROOM-32 utilizado possui uma memória flash de 4 Mb, porém esta quantidade não é muito adequada caso seja desejado armazenar longos períodos amostras. Por esta razão, foi escolhido utilizar um módulo externo que faça a interface com um cartão SD para, assim, possibilitar que uma quantidade maior de memória não volátil seja adicionada.

O modulo de cartão SD utilizado (Figura 20) é compatível com cartões Micro SD e pode ser operado tanto com níveis lógicos 5 V quanto com 3,3 V, que é o utilizado pela unidade de controle. A comunicação é feita através do protocolo SPI, que será descrito na seção 5.6 (AIEA, 2017)

Figura 20: Modulo de Cartão SD



Fonte: Aiea, 2017

5.6 Protocolos e interfaces de Comunicação Utilizados

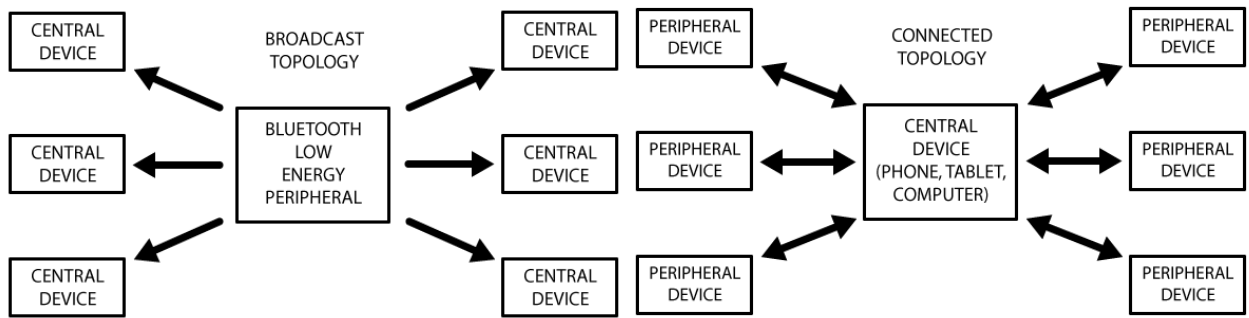
5.6.1 Bluetooth e Bluetooth LE

De acordo com Bluetooth SIG (2014), a tecnologia Bluetooth foi desenvolvida para comunicações sem fio e de curtas distâncias, com o foco em dispositivos portáteis. As qualidades desta interface são sua robustez, baixo consumo de energia e baixo custo. A partir da especificação 4.0 da tecnologia Bluetooth, existem dois sistemas de operação: *Basic rate* (BR) e *Low energy* (LE). O sistema BR utiliza a faixa ISM de 2.4GHz subdividida em 79 canais de 1MHz e implementa a técnica de *frequency-hopping* na transmissão dos pacotes, distribuindo-os entre os canais para evitar colisões com outros dispositivos, inclusive com Wi-Fi. Este sistema representa o padrão Bluetooth já bastante utilizado e conhecido nas versões anteriores da tecnologia. O sistema Bluetooth LE (ou BLE) é de concepção mais recente e foi desenvolvido para aplicações baixo consumo energético onde as taxas de transferência possam ser menores e as interações entre dispositivos mais esparsas. No projeto proposto, este último foi o selecionado para estabelecer a comunicação entre o Alimentador e o celular.

A comunicação via Bluetooth LE segue o modelo central-periférico, com o dispositivo central sendo o dispositivo de mais alto poder computacional e que normalmente é o que concentra os dados advindos dos periféricos, que são dispositivos mais simples e orientados ao baixo consumo de energia. Este dispositivo periférico assume o comportamento de anunciar suas características publicamente para que os dispositivos centrais decidam se querem ou não estabelecer uma conexão com eles para trocar informações. Esta, porém, não é a única forma de comunicação, visto que no anúncio do periférico já pode conter as informações que este deseja transmitir para um ou vários dispositivos centrais próximos, dessa forma a comunicação é na forma de *broadcast* sem o estabelecimento de uma conexão (figura 21). (TOWNSEND, 2014)

Se dois dispositivos usando BLE decidem estabelecer uma conexão, passam a se comportar como o modelo cliente-servidor onde o dispositivo central atua como cliente, fazendo requisições e o dispositivo periférico atua como servidor, provendo dados quando forem requisitados. Para maior eficiência na comunicação, um servidor também pode mandar para o cliente dois tipos de mensagens não solicitadas: notificações e indicações. Neste modelo, conceitos como serviços e características entram em cena. Serviços são usados para agrupar tipos de dados afins, chamados de características. Cada serviço é distinguido por uma UUID única e pode conter uma ou mais características (BLUETOOTH SIG, 2014).

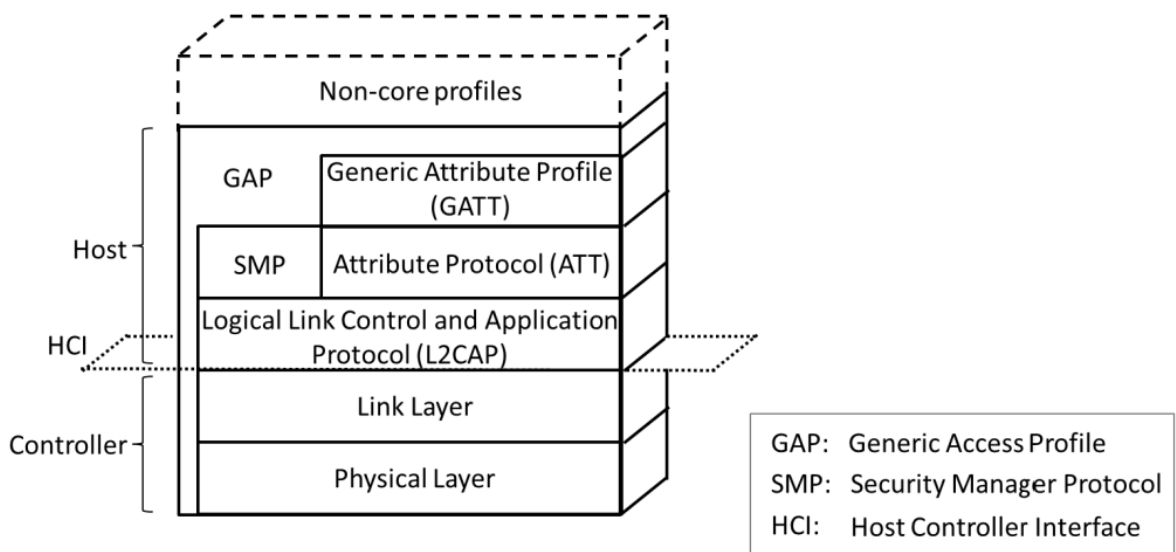
Figura 21: As duas topologias de comunicação do Bluetooth Low Energy



Fonte: Townsend, 2014

A tecnologia BLE implementa a pilha de protocolo apresentada na figura 22 e é comumente dividida em dois grupos, *controller* e *host*. O primeiro é responsável pelo controle da camada física (PHY) e da camada denominada *link layer* (LL). Esta última realiza operações de temporização, controle dos estados da conexão e tratamento dos segmentos de dados transmitidos ou recebidos. A camada física é responsável por estabelecer a comunicação de rádio, na frequência ISM de 2,4GHz subdividida em 40 canais de 2MHz cada, e por transmitir e receber os pacotes de dados em janelas de tempo específicas denominadas de eventos. Os eventos podem ser de anúncio - quando um dispositivo 'lança' os seus atributos na rede para que algum dispositivo ouça - e de conexão - estabelecido após dois dispositivos na rede se encontrarem e decidirem estabelecer uma comunicação bilateral (GOMEZ et al., 2012)

Figura 22: Pilha de Protocolo do Bluetooth Low Energy



Fonte: Gomez et al., 2012

Já o *host*, abstrai-se das restrições da camada física ficando responsável pelas camadas de mais alto nível do protocolo, L2CAP, SMP, ATT, GATT e GAP. A principal função da L2CAP é gerenciar os dados das camadas superiores e passá-las para a camada LL, numa abordagem de melhor esforço, mas sem uso de retransmissão ou mecanismos de controle de fluxo. A camada ATT define a comunicação quando dois dispositivos estão conectados e, portanto, assumindo os papéis de cliente e servidor. GATT é responsável por gerenciar a descoberta de serviços e a troca de informações (características) entre os dispositivos (BLUETOOTH SIG, 2014)

5.6.2 SPI

SPI é uma interface de comunicação serial e síncrona, desenvolvida especificamente para estabelecer a comunicação entre periféricos com a unidade de controle, portanto também sendo uma interface mestre/escravo. A comunicação entre os dispositivos é estabelecida por meio de quatro fios, SCLK para a sincronização de relógios, MOSI para o canal de dados enviados pelo mestre, MISO para o canal de dados enviados pelo escravo e SS utilizado para habilitar a comunicação entre o mestre e o escravo. Como mestre e escravo são conectados por dois canais de comunicação a comunicação pode ser dita *full-duplex* (MOTOROLA, 2000)

Para manter os relógios sincronizados, o mestre insere na saída SCLK os pulsos de *clock* que serão utilizados como referência na comunicação por todos os dispositivos conectados. Isso faz com que a velocidade de transmissão de dados fique atrelada a estes sinais, que teoricamente podem assumir qualquer frequência, visto que o protocolo não impõe limitações (LEENS, 2018). No ESP32 esta frequência pode chegar a 80 MHz.

No trabalho proposto, a interface SPI será utilizada para realizar a comunicação entre a unidade de controle e o módulo de cartão SD. Para tal, foi utilizada a biblioteca padrão SPI⁸ e SD⁹. Como a velocidade de leitura e escrita no cartão não é relevante para o correto funcionamento do dispositivo, a frequência da interface foi mantida nos 4 Mhz pré-definidos pela biblioteca.

5.6.3 1-Wire

Com a tecnologia 1-Wire, alimentação, sinais de *clock* e comunicação podem ser supridos para dispositivos utilizando apenas um fio e uma referência de aterramento.

⁸ Disponível em <<https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/SPI>> Acesso em 25 de jun. de 2019

⁹ Disponível em <<https://github.com/espressif/arduino-esp32/tree/master/libraries/SD>> Acesso em 25 de jun. de 2019

Desenvolvido pela Dallas Semiconductor, essa tecnologia é capaz de estabelecer um canal de comunicação de até 16,3 Kbps e alimentar dispositivos de baixo consumo energético. Para que a alimentação não seja interrompida nos momentos em que há transferência de dados, o dispositivo armazena cargas com um pequeno capacitor (MAXIM INTEGRATED, 2008).

Na base da tecnologia 1-Wire está o protocolo 1-Wire que é serial, *half-duplex*, bidirecional e segue o modelo mestre/escravo. Em uma rede 1-Wire pode haver um mestre e múltiplos escravos, o limite de escravos depende da topologia da rede, características dos cabos e do ambiente, podendo chegar a centenas de dispositivos (AWTREY et al., 2004). Cada dispositivo é encontrado na rede através de seu ID único de 64-bits, na inicialização da rede, o mestre descobre o ID de cada escravo e passa a referenciá-lo quando desejar coletar alguma informação (MAXIM INTEGRATED, 2008).

No sistema proposto, o protocolo 1-Wire foi utilizado na comunicação entre o sensor de temperatura DS18B20 e a unidade de controle. Para isto, duas bibliotecas livres foram utilizadas: One Wire Version 2.0¹⁰ e Dallas Temperature Control Library¹¹.

5.6.4 I²C

O protocolo I²C foi desenvolvido pela Philips Semiconductors e implementa um barramento bidirecional de 2 fios originalmente destinado à comunicação entre chips dentro de uma mesma placa. Os dois fios do barramento são chamados de SDA e SCL, o primeiro é reservado para transmissão de dados e o segundo para a sincronização dos relógios (HORD, 2019). A comunicação é do tipo mestre/escravo podendo haver múltiplos mestres numa mesma rede pois conta com rotinas de detecção de colisão. Cada dispositivo conectado possui um endereço único na rede de 8 bits que pode ser configurado via software. O número máximo de dispositivos conectados a uma mesma rede é limitado pela capacitância máxima tolerável do barramento, o que costuma ser atingido antes que o limite de dispositivos endereçáveis seja atingido (NXP, 2014).

Este protocolo, apesar de ter sido criado em 1982, ainda é amplamente utilizado na indústria para conectar microcontroladores e periféricos a distâncias curtas. Ao longo deste tempo, algumas alterações no projeto inicial foram sendo implementadas e a mais significativa delas é o suporte a frequências maiores de operação, saindo dos originais 100 khz e chegando

10 Disponível em <https://www.pjrc.com/teensy/td_libs_OneWire.html> Acesso em 25 de jun. de 2019

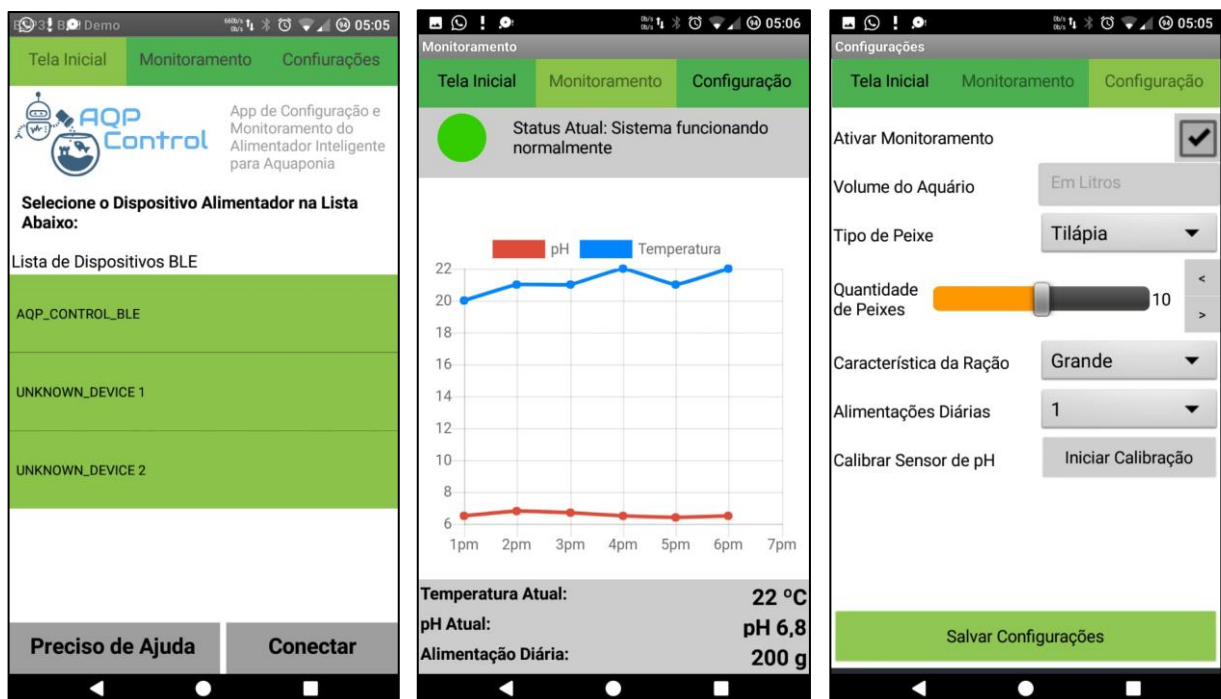
11 Disponível em < https://www.milesburton.com/Dallas_Temperature_Control_Library > Acesso em 25 de jun. de 2019

até 5 Mhz. No projeto proposto, o ESP32 utilizado oferece suporte ao protocolo, na frequência de até 400 Khz, e será utilizado para a comunicação entre a unidade de controle e o RTC Externo. Para a comunicação com o RTC, foram usadas as bibliotecas *Wire*¹² e *RTCLibExtended*¹³.

5.7 Interação Humano Computador

No sistema proposto, a interação entre homem e máquina será através de um aplicativo no smartphone com a finalidade de tornar simples e prático o envolvimento do produtor tanto com o sistema de aquaponia quanto o próprio alimentador. A interface irá auxiliar o produtor no setup inicial do alimentador (calibração dos sensores, especificações do aquário e configuração de alarmes) e também no monitoramento do sistema ao longo da sua operação normal. A seguir são apresentadas as telas desenvolvidas para o aplicativo.

Figura 23: Telas do aplicativo desenvolvido para celular

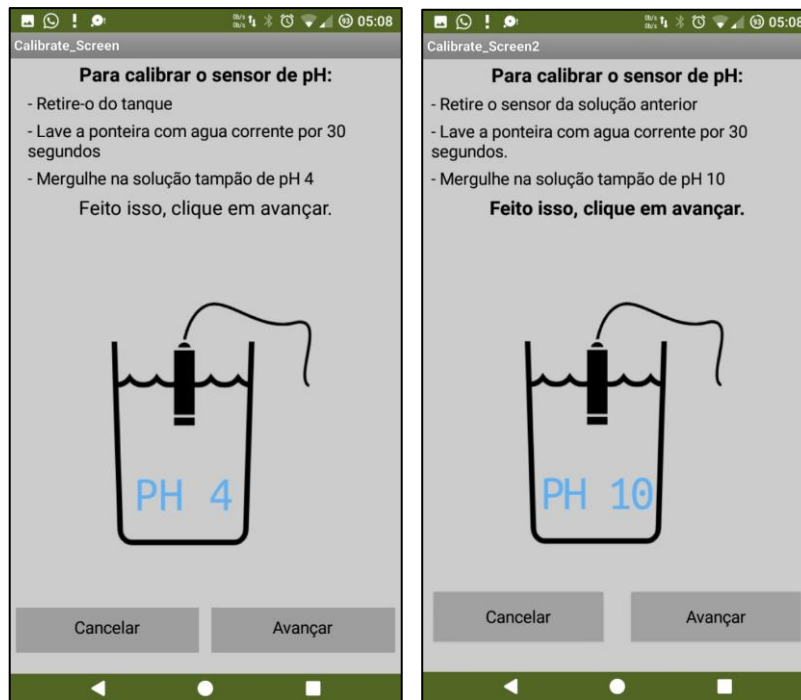


Fonte: Autor

12 Disponível em <<https://www.arduino.cc/en/Reference/Wire>> Acesso em 25 de jun. de 2019

13 Disponível em <<https://github.com/FabioCuomo/FabioCuomo-DS3231>> Acesso em 25 de jun. de 2019

Figura 24: Telas de calibração do sensor de pH



Fonte: Autor

O celular compatível com este aplicativo é do tipo *smartphone* com sistema operacional Android acima da versão 4.4. Este dispositivo também deve ser compatível com a tecnologia Bluetooth Low Energy. Para o desenvolvimento do aplicativo, foi utilizada a IDE Android Studio na sua versão mais recente (v3.4).

5.8 Esquema de Funcionamento

Para auxiliar na implementação da solução, foi criado um esquema de funcionamento (figura 25) que ilustra os principais momentos do funcionamento do *software* que foi desenvolvido para a unidade de controle do alimentador. No esquema é possível identificar os três grupos de operações mais importantes do programa: inicialização, checagem de alarmes e comunicação com o celular.

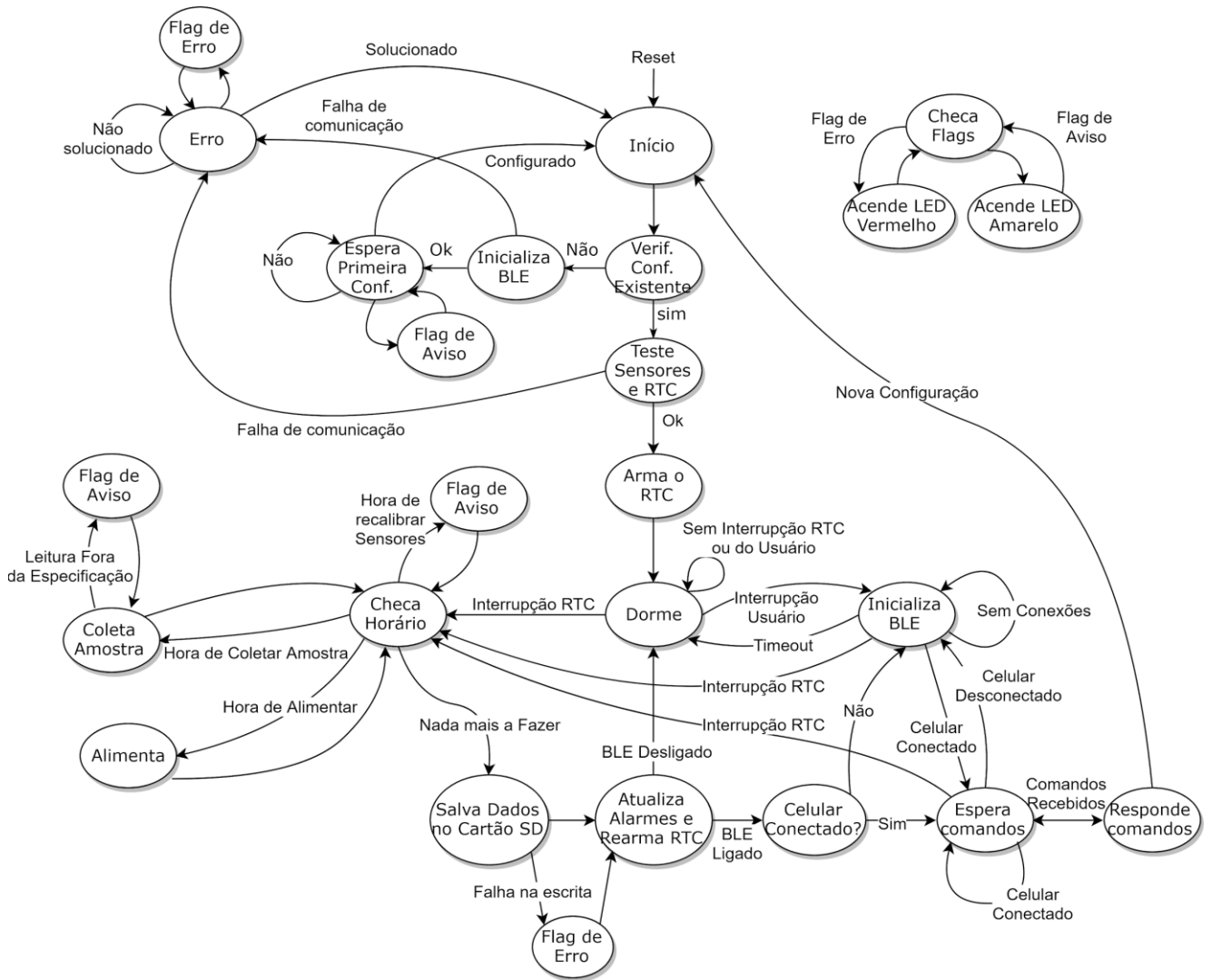
Na inicialização, é iniciada uma busca por configurações já existentes, caso não exista - o sistema está sendo iniciado pela primeira vez - o módulo Bluetooth LE é ativado e o sistema fica esperando que um dispositivo se conecte para configurá-lo. Esta configuração será passada pelo usuário através do aplicativo no seu celular, e passará informações importantes como data e hora, características do aquário e características dos peixes. Após a primeira configuração, de posse de uma data e hora atualizada, o sistema configura o RTC Externo e configura suas interrupções de alarme. Neste momento o alimentador já está configurado para que se inicie o

monitoramento periódico do aquário, e por isso entra em dormência, entrando no estado *deep sleep*.

A checagem dos alarmes, acontece quando a unidade de controle recebe uma interrupção do RTC externo, sai do modo *deep sleep* e confere o horário atual. A hora atual é comparada com uma lista de alarmes para que então ações possam ser executadas. Os alarmes que o sistema gerencia são referentes à hora de alimentar os peixes, hora de coletar a amostra dos sensores e hora de recalibrar os sensores. Caso uma amostra seja coletada, os dados de leitura são avaliados e comparados com os limites desejados de operação do aquário e, caso não estejam, uma *flag* de aviso será levantada. Se estiver na hora de alimentar os peixes, o sistema determina a quantidade de comida a partir das últimas leituras dos sensores e calcula o tempo de acionamento do motor que movimenta a rosca transportadora. Outro alarme que o sistema confere é o de quando realizar nova calibração dos sensores, principalmente do sensor de pH, que deve ser feita entre sete e dez dias.

A comunicação com o celular acontece quando o usuário tem a intenção de acessar a interface de monitoramento do sistema ou alterar suas configurações. Para que esta comunicação seja estabelecida, o usuário pressiona um botão no alimentador que acordará a unidade de controle e inicializa o módulo Bluetooth, ficando nesse estado por alguns segundos ou até que uma conexão como o celular seja estabelecida. Quando o celular se conectar ao dispositivo, e acessar a tela de monitoramento, este enviará os valores das leituras dos sensores mais recentes e os horários das aferições para que seja plotado o gráfico na tela do usuário. Para que exista constância nas amostras dos sensores e na alimentação dos peixes, enquanto o celular estiver conectado, o alimentador ainda será capaz de receber as interrupções do RTC e realizar as ações necessárias.

Figura 25: Esquema de funcionamento da unidade de controle



Fonte: Autor

5.9 Custos do Projeto

Para atender uma das restrições do projeto, que foi ser de baixo custo, foram selecionados componentes de menor valor, mas que ainda cumprissem as funções esperadas, ora utilizando alguns componentes destinados a outros usos e adaptando-os ao projeto. Isso foi feito com a rosca transportadora, criada a partir de um ferro de pua, e das carcaças, montadas com canos PVC e embalagens plásticas comuns. A tabela 3 mostra os valores unitários dos componentes e o total gasto no projeto. É possível verificar que o sensor de pH é o mais caro dos componentes, custando praticamente um terço dos custos do projeto.

Tabela 3: Custos de implementação do projeto

Item	Aplicação	Valor
Placa de desenvolvimento ESP32	Unidade de Controle	R\$ 66,90
RTC DS3231		R\$ 18,90
Sensor de pH	Sensoriamento	R\$ 120,00
Sensor de Temperatura		R\$ 12,00
Módulo de Cartão SD	Armazenamento de Dados	R\$ 8,50
Cartão SD 4Gb		R\$ 19,00
Motor DC com Redução 35:1	Dispensador de Comida	R\$ 13,90
Rosca Transportadora		R\$ 10,00
Tubos e Conexões PVC		R\$ 25,00
Transistor Mosfet		R\$ 4,90
LEDs	Interação com Usuário	R\$ 2,00
Botão		R\$ 0,50
Fonte 12V 2A	Montagem do Circuito e Alimentação	R\$ 12,00
Regulador de Tensão Step Down		R\$ 14,00
Fios e Resistores		R\$ 8,00
Caixa plástica hermética		R\$ 35,00
	Total	R\$ 370,60

6 AVALIAÇÃO

Assim como as etapas anteriores, a etapa de avaliação é de suma importância para o bom desenvolvimento da solução proposta, pois será responsável pela verificação dos elementos de hardware e software a fim de detectar possíveis problemas. Como o projeto se desdobra em diversos componentes e ainda conta com interface de usuário, propõe-se que o sistema seja avaliado de três formas: verificação do funcionamento dos sensores e atuadores, análise do sistema em casos de falhas e análise da interface de usuário.

6.1 Ambiente de Testes

Para avaliar o funcionamento do sistema, este foi colocado em uma bancada para testes onde foi possível conectar seus sensores a fontes conhecidas e que pudessem ser submetidas a variações. Dessa forma foi possível avaliar as diversas respostas do dispositivo sem que a vida dos peixes e plantas de um sistema de aquaponia em andamento fosse prejudicada.

No ambiente de testes também foi acelerado o relógio interno, para que o sistema respondesse mais rapidamente à passagem do tempo e as funções de dormência e baixo consumo de energia desativadas.

6.2 Verificação do funcionamento dos sensores e atuadores

Utilizando o ambiente de testes, calibrou-se o sensor de pH com o auxílio das soluções tampão e utilizando o algoritmo disponível pelo fabricante. Alguns dias após a calibração, foram realizadas novas aferições com o sensor mergulhado nas soluções de pH 4, 7 e 10 e notou-se pouco desvio nos valores lidos, da ordem de 2%. É interessante salientar que o tempo esperado para as leituras do pH se estabilizarem foi superior a 1 minuto, um valor bem acima do esperado, que seria por volta de 30s. O sensor de temperatura não possui calibração, mas teve seus valores comparados com os de um termômetro analógico, ambos mergulhados no mesmo líquido e os resultados foram bastante próximos.

6.3 Análise do sistema em casos de falhas

Para avaliar se o dispositivo é capaz de se recuperar de falhas em seus componentes, foram supostos cenários e avaliado o seu comportamento. Seguem os resultados desta análise:

- Interrupção na fonte de alimentação - Pelo fato do sistema não possuir baterias de backup, este irá desligar quando houver queda de energia, não funcionando, portanto, até que a energia seja restabelecida. Porém, como as configurações do dispositivo são armazenadas em memória flash, quando ele ligar novamente poderá retomar suas configurações anteriores e retomar a sua operação normal.
- Falha no RTC - O RTC é o responsável por acordar o dispositivo com uma periodicidade constante para que este execute suas atividades programadas, caso o RTC pare de operar, não haverá como acordar o dispositivo novamente. Uma solução para este problema seria programar um *watchdog timer* com RTC interno utilizando um tempo

maior do que o esperado pela interrupção do RTC externo; permitindo, assim, que a unidade de controle perceba a falha no componente e siga operando com o RTC interno (com menor precisão na contagem do tempo).

- Falha na bateria do RTC - Apesar do RTC possuir bateria própria, ele também é alimentado pelo sistema sempre que este estiver conectado à rede elétrica, mesmo quando a unidade de controle estiver em estado de dormência. Portanto uma falha na bateria do RTC enquanto este estiver em funcionamento não causará problemas no funcionamento do dispositivo.
- Movimentação do motor do alimentador obstruída - Este cenário acarretará em uma falha grave e não detectável pelo sistema, pois não foi previsto nenhum tipo de sensor para verificar se o motor está girando corretamente ou não.
- Deterioração do sensor de pH - Quanto mais tempo o sensor de pH ficar mergulhado no tanque, mais a sua leitura irá defasar dos valores reais. Não há como mitigar este fenômeno, mas o que o sistema de fato faz é avisar o usuário semanalmente que o sensor deve ser limpo e calibrado.
- Cartão de memória não instalado ou com defeito - Quando o cartão de memória não está disponível, o sistema não consegue armazenar as leituras dos sensores de temperatura e pH para o monitoramento, porém isto não interfere na alimentação dos peixes já que o valor utilizado no cálculo da comida é a leitura da última aferição, que é mantida na memória interna.
- Falta de Comida no Alimentador - Este cenário acarreta em uma falha grave, pois não foi implementado nenhuma maneira de aferir ou estimar a quantidade de ração do reservatório, fica a cargo do operador de mantê-la cheia.

6.4 Análise da interface de usuário

Para avaliar a interface, foram realizadas avaliações heurísticas aplicadas por um especialista com experiência em usabilidade para celulares, utilizando as 10 heurísticas de Nielsen. Os problemas identificados foram compilados e relacionado com as heurísticas com que se relacionam e apresentados na Tabela 4. A partir dos resultados, foi possível perceber alguns pontos de melhoria na interface do aplicativo, o que permitiu que sugestões de melhorias fossem feitas por parte do Autor. Tais sugestões também foram compiladas e acrescentadas à tabela citada.

Tabela 4: Resultado da avaliação heurística e sugestões de correção pelo Autor

Problema Identificado pelo Especialista	Heurística Relacionada	Local	Sugestão de Correção pelo Autor
Na tela inicial, a lista de dispositivos exibe qualquer dispositivo com Bluetooth Low Energy e não apenas o Alimentador	2 e 6	Tela Inicial	Retirar da interface a lista de dispositivos BLE e apresentar ao usuário apenas os dispositivos compatíveis.
Pouca informação é dada sobre qual item da lista escolher	10	Tela Inicial	Informar melhor ao usuário sobre quais ações são necessárias para que o celular se conecte ao Alimentador.
A terminologia e utilizada na lista de dispositivos próximos não é familiar ao usuário final	2	Tela Inicial	Retirar da interface as referências ao Bluetooth Low Energy e utilizar uma linguagem mais simplista.
Não fica claro qual a diferença no tamanho da ração, no campo "características da ração"	2	Tela de Configuração	Utilizar uma nomenclatura alinhada com a realidade, informando a granulometria da ração em alguma unidade de medida.
O campo "volume do aquário" pode ser preenchido com qualquer valor numérico sem gerar erro ou avisos	5 e 6	Tela de Configuração	Incluir checagem de consistência para volumes fora do esperado
após realizar a calibração do sensor de pH, os campos da tela de configuração voltam às configurações originais, perdendo qualquer progresso que tenha sido feito	4	Tela de Configuração	Salvar o status de cada campo antes de uma troca de contexto
Ao clicar em avançar na tela de calibração, a interface fica travada por alguns segundos antes de avançar para a próxima tela	1 e 3	Tela de Calibração	Informar o usuário que para que a calibração ocorra, o sensor deve ficar parado na solução tampão por alguns segundos. Também apresentar feedback visual do tempo remanescente.
O Gráfico apresentado é de difícil visualização, pois ambos pH e Temperatura utilizam a mesma escala	1 e 9	Tela de Monitoramento	Apresentar gráficos distintos para os dois valores ou utilizar um gráfico com duas escalas distintas.
Senti falta de saber os horários em que as alimentações dos peixes foram feitas no último dia	1	Tela de Monitoramento	Adicionar esta informação na tela de monitoramento
Gostaria de mais informações sobre como proceder quando o status do sistema não estiver normal	1 e 5	Tela de Monitoramento	Informar o usuário do procedimento necessário a ser realizado para cada cenário fora do normal.

7 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

A agricultura urbana está se fortificando como real alternativa para produção de alimentos. Com ela, práticas de produção de alimentos em pequenas áreas, de maneira descentralizada, estão ganhando atenção. A aquaponia é um bom exemplo disso, pois tem capacidade de produzir alimentos com alta eficiência em grandes ou pequenos espaços.

Analisando esta tendência e aliando-a ao conceito de *smart farming* que vem ganhando forças nos últimos anos, nota-se a importância em integrar estes dois cenários para que sejam possíveis ganhos em produtividade e sustentabilidade. Portanto, é necessário que sejam desenvolvidas cada vez mais pesquisa e desenvolvimento de produtos a respeito desses temas voltados para o público adequado. Quando se fala em pequenos espaços, na maioria das vezes estamos nos referindo ao trabalho de pequenos produtores, produtores iniciantes ou pessoas que exercem outras atividades, mas que buscam a auto-suficiência alimentar. Dessa forma, uma etapa importante no desenvolvimento de soluções para agricultura urbana e/ou de pequena escala é a correta identificação do perfil do usuário e a criação de interfaces condizentes às suas necessidades e capacidades.

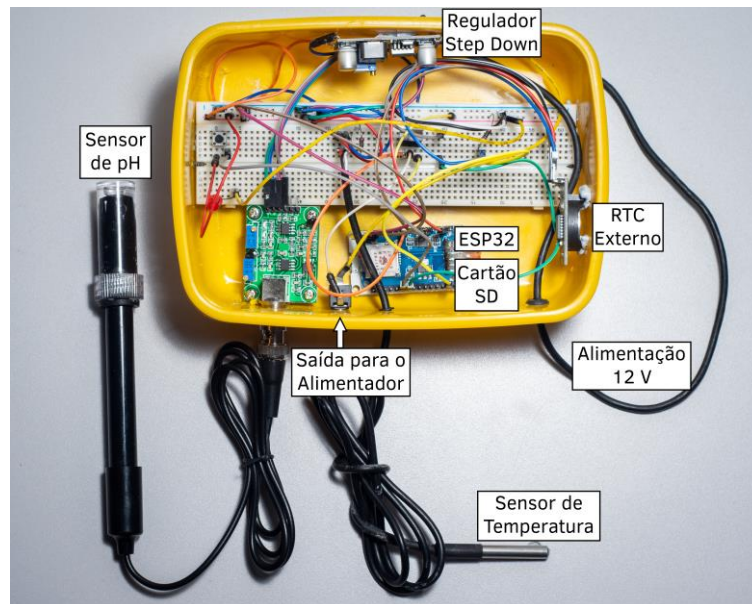
Por esta razão, este trabalho propôs o desenvolvimento de um alimentador inteligente para sistemas de aquaponia de pequeno porte visando auxiliar o dia a dia do pequeno produtor e aliando funcionalidades a uma interface de usuário adequada. O dispositivo atua nos pontos que foram considerados de alta demanda de tempo e energia de quem lida com o sistema de aquaponia - o controle da quantidade de ração e o monitoramento da qualidade da água. Durante a realização da proposta, foram utilizadas técnicas de IHC e engenharia de software como engenharia de requisitos, casos de uso e modelagem de interfaces.

Durante o estudo, notou-se que já foram implementadas algumas soluções viáveis e semelhantes à proposta, todavia, direcionadas para a aquacultura. Esse trabalho, porém, trouxe uma solução inovadora, pois trata do cultivo específico da aquaponia analisando parâmetros diretamente relacionados com a esta técnica específica de produção de alimentos.

No decorrer deste trabalho foram analisadas as questões centrais para o desenvolvimento de um dispositivo de automação com interface de usuário. Foram avaliados o funcionamento dos componentes, bem como protocolos e interfaces necessárias para compor o sistema. Também foi vista em detalhes a comunicação por Bluetooth Le com o celular e as características que este aparelho deve possuir. Com base no que foi verificado nessa etapa, foi possível conectar todos os componentes e desenvolver o software tanto para o celular quanto

para a unidade de controle do alimentador. Na versão final do projeto, utilizada nos testes, o modo *deep sleep* não pode ser totalmente implementado e foi desabilitado. A figura 26 apresenta os componentes eletrônicos e os sensores montados em uma caixa estanque, esta configuração foi utilizada nos testes da fase de avaliação. A figura 27 apresenta a unidade responsável por dispensar comida aos peixes.

Figura 26: Placa de controle do alimentador



Fonte: Autor

Figura 27: Dispensador de comida do alimentador



Fonte: Autor

Para concluir este trabalho, foram realizadas avaliações sobre as suas funcionalidades para verificar se o comportamento do sistema estava adequado com o esperado. Esta foi uma etapa crucial do processo, pois permitiu a detecção de erros e pontos de melhoria, fundamentais para a evolução do sistema e também do profissional que o desenvolve. A figura 28 mostra o alimentador montado no sistema de aquaponia onde serão realizados testes posteriores a este trabalho, visto o sistema necessita estar em operação por vários dias antes de entrar em equilíbrio e ser feita a introdução dos peixes.

Figura 28: Vistas do alimentador completo montado no sistema de aquaponia para testes



Fonte: Autor

Para trabalhos futuros, pensa-se em implementar o monitoramento de outros parâmetros do aquário com o auxílio de mais sensores ligados ao alimentador e também incluir conectividade com a internet para que o operador possa acessar informações e controlar o dispositivo remotamente. Além disso, juntamente com um especialista em aquaponia pode ser realizado um trabalho de mapear todo o ciclo de vida dos peixes para que a alimentação possa se adequar à fase de crescimento dos peixes ou à época de reprodução. Para aplicações de maior escala, pode-se cogitar substituir os sensores por versões melhores ou até mesmo desenvolver um sistema de autolimpeza dos sensores a fim de conferir maior confiabilidade e resiliência ao sistema.

REFERÊNCIAS

AIEA V. M. **Interfacing Catalex Micro SD Card Module with Arduino**. Kerala, 03 de mar. de 2017. Disponível em: <<https://www.vishnumaiea.in/projects/hardware/interfacing-catalex-micro-sd-card-module>> Acesso em: 20 de jun. 2019.

ANDRADE, A.L.L. **Usabilidade de Interfaces Web: Avaliação Heurística no Jornalismo on-line**. Rio de Janeiro: E-papers. 2007.

AWTREY, D.; SMITH, K.; LISSIUK, D. **Understanding 1-Wire Series Design Guide v1.0**. Springbok Digitronics, 2004. Disponível em: <http://dutta.csc.ncsu.edu/csc453_spring16/wrap/1-Wire-Design%20Guide%20v1.0.pdf> Acesso em: 11 de jun. de 2019.

BAKER, K; GREENBERG, S; GUTWIN, C. **Empirical Development of a Heuristic Evaluation Methodology for Shared Workspace Groupware**. Proceedings of the 2002 ACM conference on Computer supported cooperative work. New Orleans. 2002.

BLUETOOTH SIG. **Specification of the Bluetooth. System, Covered Core Package Version: 4.2**. [S.l.], 2014. Disponível em: <<https://www.bluetooth.com/specifications/archived-specifications/>> Acesso em: 12 de jun. 2019.

BOLFE, E. **A transformação digital impulsiona o futuro sustentável da agricultura**. Embrapa, 29 de ago. de 2018. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/37159329/artigo---a-transformacao-digital-impulsiona-o-futuro-sustentavel-da-agricultura>>. Acesso em 10 de jun. 2019.

BRÁS, A. R. **Systems on Chip: Evolutionary and Revolutionary Trends**. Dep. Informática, Universidade do Minho. Braga, Portugal. 2002.

BRAZ FILHO, M.S.P. **Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água**. Monografia (Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo. 2000.

BRŠĆAN, I. M. **Integrar criação de peixes com hortaliças economiza 90% de água e elimina químicos**. Embrapa, 28 de Abril de 2015. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2767622/integrar-criacao-de-peixes-com-hortaliças-economiza-90-de-agua-e-elimina-quimicos>>. Acesso em 20 de jun. 2019.

CARNEIRO, P.C.F. et al. **Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais**. Macapá, 2015.

CYBIS, W.; BETIOL, A.H.; FAUST, R. **Ergonomia e Usabilidade: Conhecimento, Métodos e Aplicações**. São Paulo: Novatec, 2007

DENARDIN, G. W. **Microcontroladores**. Apostila. 2010. Disponível em: <https://www.academia.edu/24326288/Apostila_micro_do_Gustavo_Weber>. Acesso em: 19 Jun. 2019.

DIVER, S. **Aquaponics**—Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service, Washington, EUA. 2006.

DORF, Richard C; BISHOP, Robert H. **Sistemas de controle modernos**. 8.ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 2001.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32 Technical Reference Manual** Version 4.0. [S.l.], 2018. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_technical_reference_manual_en.pdf> Acesso em 12 de jun. 2019.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP32-WROOM-32 Datasheet** Version 2.8. [S.l.], 2019. Disponível em: <https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf> Acesso em 12 de jun. 2019.

FINKELSTEIN, R. **Um Sistema de Monitoramento para Aquaponia Baseado em Internet das Coisas**. Monografia (Graduação em Engenharia de Computação) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2018.

GOMEZ, C.; OLLER, J.; PARADELLS, J. **Overview and Evaluation of Bluetooth Low Energy**: An Emerging Low-Power Wireless Technology. *Sensors* 12, no. 9. 2012

HALWEIL, B. **The Rise of Small Farm Robots**: Or why the miniaturization of farm machinery will help encourage small, diverse farms. *Food is the New Internet*, 17 de mai. de 2016. Disponível em: <<https://medium.com/food-is-the-new-internet/the-rise-of-small-farm-robots-365e76dbdac1>> Acesso em 10 de jun. 2019

HERBERT, S. et al., **Aquaponics in Australia** - The integrations of Aquaculture and Hydroponics. Mudge, Australia, 2008.

HORD, M. **I2C**. Sparkfun Tutorials. Disponível em: <<https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all>> Acesso em: 10 de jun. de 2019.

HUGHES, J. M. **Practical Electronics**: Components and Techniques. 1.ed. Sebastopol: O'Reilly Media. 2015.

HUNDLEY, G.C.; NAVARRO, R.D. **Aquaponia**: a integração entre piscicultura e a hidroponia. *Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável*, v. 3, n. 2, 2013.

IBRAHIM, D. **Microcontroller Based Applied DigitalControl**. Cyprus: John Wiley & Sons, 2006.

ISO 9241. **Ergonomic requirements for office work with visual display terminals.** Genève. 1998.

IVKOVIC, J.; IVKOVIC, J.L. **Analysis of the performance of the new generation of 32-bit Microcontrollers for IoT and Big Data Application.** 7th International Conference on Information Society and Technology ICIST. Kopaonik, Serbia. 2017.

Kamiyama, A. **Percepção ambiental de produtores e qualidade do solo em propriedades orgânicas e convencionais.** Dissertação (Mestrado em Gestão de Recursos Agroambientais) - Instituto Agrônomo, Campinas, 2009.

KUROSE, J. F.; ROSS, K. W. **Computer networking: a top-down approach.** 6th. Harlow : Pearson Education. 2012.

LACOMBE, F. J. M. **Dicionário de Administração.** São Paulo: Saraiva, 2004.

LEENS, F. **Introduction to I²C and SPI protocol.** Byte Paradigm, 2 de jun. de 2013. Disponível em : <<https://www.byteparadigm.com/applications/introduction-to-i2c-and-spi-protocols/>> Acesso em: 22 de jun. de 2018.

MAXIM INTEGRATED. **TUTORIAL 1796: Overview of 1-Wire Technology and Its Use.** 19 de jun. de 2008. Disponível em: <<https://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/1796>> Acesso em: 11 de jun. de 2019.

MAXIM. **DS3231M ±5ppm, I2C Real-Time Clock.** [S.l.], 2015. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231M.pdf>> Acesso em: 20 de jun. 2019.

MOTOROLA. **SPI Block Guide V03.06.** [S.l.], 2000. Disponível em: <<https://web.archive.org/web/20150413003534/http://www.ee.nmt.edu/~teare/ee3081/datasheets/S12SPIV3.pdf>> Acesso em: 20 de jun. de 2019.

NATIONS, U. **World urbanization prospects: the 2014 revision.** [S.l.], 2014

NIELSEN, J. **10 Usability Heuristics for User Interface Design.** Nielsen Norman Group, 24 de abr. de 1994. Disponível em: <<https://www.nngroup.com/articles/ten-usability-heuristics/>> Acesso em 20 de jun. 2019

NXP. **UM10204 I²C-bus specification and user manual.** 4 de abr. de 2014. Disponível em: <<https://www.nxp.com/docs/en/user-guide/UM10204.pdf>> Acesso em: 12 de jun de 2019.

PIRES, V.C. **Agricultura Urbana como Fator de Desenvolvimento Sustentável: Um Estudo na Região Metropolitana de Maringá.** Universidade Estadual de Maringá, 2016.

PREECE, J.; ROGERS, Y; SHARP, H. **Design de Interação: além da interação homem-computador.** Tradução: Viviane Possamai – Porto Alegre: Bookman, 2005.

PRIMAVESI, A. **Revisão do conceito de agricultura orgânica**: conservação do solo e seu efeito sobre a água. *Biológico*, São Paulo, v.65, n.1/2, p.69-73, jan./dez., 2003.

RICHE, M. e GARLING, D. **Feeding Tilapia in Intensive Recirculating Systems**. North Central Regional Aquaculture Center, Iowa, 2003.

ROCHA, H. V.; BARANAUSKAS M. C. C., **Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador**. Campinas: NIED/UNICAMP, 2003.

RUAF. Concept and definition. **The Urban Agriculture Magazine**. Leusden, Netherlands, v.1, n.1, Junho de 2000. Disponível em: <<https://www.ruaf.org/sites/default/files/UA%20-%20Concept%20and%20Definition.pdf>>. Acesso em 20 de jun. 2019.

SÁ, M.V.C. **Limnocultura**: limnologia para aquicultura. Fortaleza. 2012.

SALLENAVE, R. **Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems**. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences of NM State University, Las Cruces, New Mexico, 2016.

SCARPONI, A. Malthus, **a Meal a Day**. Or How I Learned to Stop Worrying About the Food and Love the (Population) Bomb. [S.l.] 2011. Disponível em: <<http://www.conceptualdevices.com/2011/06/malthus-a-meal-a-day-or-how-i-learned-to-stop-worrying-about-the-food-and-love-the-population-bomb/>> Acesso em 10 de jun. de 2019.

SCHMALTZ, R. **Automation is changing modern farming**. *Real Agriculture*, 20 de Agosto de 2018. Disponível em: <<https://www.realagriculture.com/2018/08/automation-is-changing-modern-farming/>> Acesso em 10 de jun. 2019.

SHNEIDERMAN, B.; PLAISANT, C. **Designing the user interface: strategies for effective human-computer interaction**. 4.ed. Boston: Pearson & Addison Wesley. 2005.

Soglio, F. D.; Kubo, R. R. **Agricultura e sustentabilidade**. 1.ed. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009.

SOMERVILLE, C; COHEN, M; PANTANELLA, E; STANKUS, A; LOVATELLI, A. **Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming**. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper. 2014.

SOMMERVILLE, I. **Engenharia de software**. Tradução: Selma Shin Shimuzu Melnikoff, Reginaldo Arakaki, Edilson de Andrade Barbosa. São Paulo: Pearson Addison Wesley. 2007.

STALLINGS, W. **Data and Computer Communications**. 8.ed. Upper Saddle River: Prentice Hall. 2006.

TOWNSEND, K. **Introduction to Bluetooth Low Energy**: A basic overview of key concepts for BLE. [S.l], 2014. Disponível em: <<https://learn.adafruit.com/introduction-to-bluetooth-low-energy/>> Acesso em: 12 de jun. 2019.

WIKIMEDIA COMMONS. **Espressif ESP32 Chip Function Block Diagram**. 2018.

Disponível em:

<https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Espressif_ESP32_Chip_Function_Block_Diagram.svg#globalusage> Acesso em 13 de jun. de 2019.

ANEXO A – ARTIGO DO TRABALHO DE GRADUAÇÃO 1

Desenvolvimento de um Alimentador Inteligente para Sistemas de Aquaponia

Filipe Avila Soares

Instituto de Informática - Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)
Caixa Postal 15.064 - 91.501-970 - Porto Alegre - RS - Brasil

filipe.avilasoares@gmail.com

***Abstract.** Research and development of a fish feeder equipped with a microprocessor suited for aquariums of sizes between 500l and 2000l. The amount of feeding released daily is calculated taking into account different water parameters (temperature, pH, etc) which are measured by sensors and will be released to the fish tank with the aid of an actuator. The project will also have an user interface and wireless communication for configuring and monitoring through a mobile phone.*

***Resumo.** Pesquisa e desenvolvimento de um alimentador microprocessado para peixes em aquários de médio porte (500l a 2000l.) Por meio da análise de parâmetros da água (temperatura, pH, etc) com o uso de sensores, o alimentador determinará a quantidade de comida diária que deverá ser liberada para os peixes com o auxílio de um atuador. O projeto também conta com interface de usuário e comunicação wireless para fácil configuração e monitoramento do sistema.*

1. Introdução

O crescimento populacional e o êxodo rural já se tornaram constantes no mundo atual e explicitam uma transição importante da humanidade. Já vivem mais pessoas nas cidades do que no campo e a tendência é que isso só aumente [1]. Com esse fenômeno, surgem também diversos problemas sociais e ambientais pois não há moradia para todos dentro das cidades e o sistema de produção e transporte de alimentos torna-se ineficiente e sobrecarregado.

A partir desta problemática, surgem soluções que visam aumentar a qualidade de vida dentro das cidades, bem como trazer segurança alimentar e descentralizar os sistemas produtivos. Neste âmbito, surgiu o conceito de agricultura urbana, que visa solucionar esses problemas empoderando os cidadãos no processo. Ao fazer com que as pessoas cultivem os seus próprios alimentos dentro das cidades ou que produzam para comercializar com outras pessoas daquela região, é possível aumentar o acesso a alimentos saudáveis e livres de agrotóxicos [2]. Além disso, com essa forma de produção, também pode-se reduzir os

impactos ambientais gerados pela cadeia de distribuição dos alimentos que inclusive gera grandes desperdícios [2].

Quando falamos em agricultura urbana, logo pensamos em hortas domésticas ou hortas comunitárias mas, na verdade, existem diversas outras formas de cultivo que podem ser aplicadas dentro das cidades. Agricultura urbana é, na verdade toda prática intra-urbana ou periurbana onde se cultiva, produz, cria, processa e distribui uma variedade de produtos alimentícios utilizando largamente os recursos humanos e materiais encontrados dentro e em torno da área urbana [3].

Um sistema de cultivo que vem se popularizando bastante e que perfeitamente se encaixa nos atributos acima citados é a aquaponia, que consiste no cultivo integrado de peixes e vegetais com alta produtividade, mínimo de desperdício de recurso e baixo investimento, podendo ser executado em qualquer escala de tamanho. Em sistemas como esse, porém, quanto menor o tamanho do sistema, maior é a dificuldade de mantê-lo em equilíbrio. Fatores como quantidade de alimento dado aos peixes, temperatura e pH da água influenciam muito no estabelecimento deste ponto e acabam por dificultar o trabalho do produtor que, muitas vezes, é iniciante no uso da técnica ou não pode despende o devido tempo para realizar esse acompanhamento. Visando minimizar essas dificuldades, este trabalho visa desenvolver um alimentador inteligente que calcule a quantidade correta de ração com base em uma série de parâmetros medidos e que auxilie o produtor no manejo do sistema de aquaponia através de um aplicativo para android que se conecta ao alimentador e exibe os valores lidos pelos sensores.

Neste trabalho serão abordados os passos para o desenvolvimento desse dispositivo, compreendido pela fundamentação teórica sobre aquaponia e a nutrição dos peixes e plantas, bem como uma análise de viabilidade de construí-lo com a tecnologia disponível. Após isso, será apresentado um panorama geral das soluções já existentes no mercado e então estruturada uma proposta de como funcionará o dispositivo seguida de uma análise de todos os componentes necessários para a sua construção e as decisões de projeto que foram tomadas. Por fim, serão apresentados os passos para o desenvolvimento da solução, um esquemático do dispositivo proposto e como ele será validado.

2. Fundamentação teórica

2.1. Aquaponia

A aquaponia é a integração entre os cultivos de hidroponia e aquicultura em sistema fechados com recirculação de água e utilizando os resíduos dos peixes como fonte de nutrientes para as plantas. Tem como objetivo aumentar a eficiência da produção de alimentos e tornar as duas técnicas menos impactantes ao meio ambiente do que quando implementadas em separado.

Na aquaponia toda a água utilizada é mantida limpa graças às plantas e microorganismos e recirculada no sistema, fazendo com que a perda de água para o ambiente seja consideravelmente baixa se dando apenas pela evapotranspiração das plantas e pela evaporação da água dos reservatórios [5]. Além disso, por não haver descarte de efluentes, há um melhor aproveitamento da ração e dos nutrientes inseridos no sistema [6].

A aquaponia é considerada uma produção sustentável e que possibilita a produção de alimentos mais saudáveis [7]. A integração das duas técnicas permite a criação tanto de sistemas compactos, ideais para produção familiar ou em centros urbanos, quanto de larga escala com objetivo comercial [8].

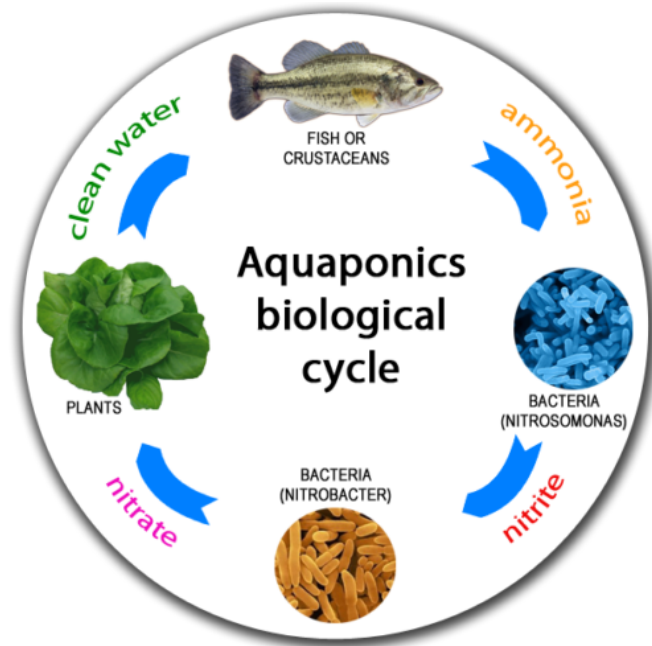


Figura 1. Ciclo biológico de sistemas de aquaponia [4].

O baixo custo com adubos também pode ser observado, pois os peixes que proporcionarão a solução nutritiva de baixíssimo custo para os vegetais. Os dejetos então serão aproveitados no sistema e não direcionando para a natureza, evitando assim o aumento da poluição ambiental.

As desvantagens mapeadas para este sistema são a dependência de energia elétrica, dependência de conhecimento básico de biologia, fitotecnia, piscicultura, hidráulica e engenharia e alto custo de investimento inicial; também há pouca tecnologia e informações difundida no Brasil a respeito desta técnica [6,9,10].

2.2. Alimentação dos peixes

Os peixes são animais peclotérmicos, logo, dependem diretamente da temperatura da água para manter a temperatura corporal adequada e o correto funcionamento do seu metabolismo. Quanto maior a temperatura, mais acelerado é o metabolismo do peixe até um certo limite (que varia entre as espécies de peixes) a partir do qual podem acarretar estresse e até óbito. A temperatura, dentre todos os parâmetros, é um dos mais importantes pois afeta diretamente todas atividades fisiológicas dos peixes (alimentação, respiração, digestão e até susceptibilidade de doenças)[6,11].

A velocidade do metabolismo do peixe varia em função da disponibilidade de energia nas células, que está diretamente relacionada com a quantidade de oxigênio. Como o aumento da temperatura é responsável pelo aumento da concentração de oxigênio no meio, pode-se

dizer que quanto maior a temperatura, maior será a taxa de crescimento e a atividade celular dos peixes [11].

Quando cria-se peixes em aquário, onde o alimento é um recurso externo, deve-se tomar bastante cuidado com a quantidade e a frequência de ração dada. Pouco alimento pode prejudicar o crescimento e o ganho de biomassa dos peixes enquanto que alimento em excesso pode entrar em decomposição na água, aumentando os níveis de amônia tóxica e contribuindo para a proliferação de bactérias e algas indesejadas. O cálculo da alimentação dos peixes é feito com base na temperatura da água e na biomassa total presente no aquário. Além disso, deve-se respeitar as condições potencialmente nocivas para os peixes, como quando há muita amônia tóxica no aquário em que deve se reduzir a quantidade de comida para que o metabolismo dos peixes diminua e dê tempo para os microorganismos fazerem a ciclagem desta substância [12].

Outro fator importante é a frequência em que o alimento é colocado no aquário pois afeta o ganho de biomassa dos peixes. Estudos mostram, por exemplo, que o crescimento de tilápias é ótimo quando alimentadas com 4 a 5 horas de intervalo entre as refeições [13].

2.3. Nutrição das plantas

As substâncias excretadas pelos peixes precisam ser quebradas por bactérias e microorganismos em um processo chamado de nitrificação. Este processo ocorre melhor em valores mais altos de PH, por isso, é necessário manter um controle sobre este nível, indicando caso seja necessário fazer a correção dos níveis.

Se a nitrificação estiver ocorrendo adequadamente, isto é, há microorganismos suficientes para converter a amônia em nitratos, e se o processo de oxigenação também estiver adequado, a tendência é que as plantas se desenvolvam de maneira saudável.

Como isso só depende de fatores relacionados ao projeto do sistema de aquaponia, não será necessário fazer um acompanhamento muito detalhado através do sistema proposto.

2.4. Aspectos chave para manter o correto funcionamento de um sistema de aquaponia

A aquaponia, por ser uma técnica que integra tantos processos físicos, químicos e biológicos em um mesmo sistema, por vezes pode ser considerada um sistema frágil que necessita de um acompanhamento próximo e pode facilmente sair da estabilidade. Entre os aspectos mais importantes no manejo de um sistema aquapônico estão o controle do ph, dos níveis de amônia, a aferição da temperatura e a quantidade de ração dada aos peixes. O monitoramento desses parâmetros, em conjunto com a observação do comportamento dos peixes deve ser realizado periodicamente para detectar irregularidades e realizar as possíveis alterações[6].

O pH ideal é um ponto crítico do sistema, pois a faixa ideal de pH para os peixes é diferente da faixa de pH ideal para as plantas que é diferente da faixa de pH ideal para as bactérias nitrificantes [12]. Isso faz com que tenha-se que comprometer a eficiência de alguns

elementos do sistema para que este, como um todo, funcione adequadamente. Encontrar e manter este ponto de equilíbrio é um processo trabalhoso e delicado.

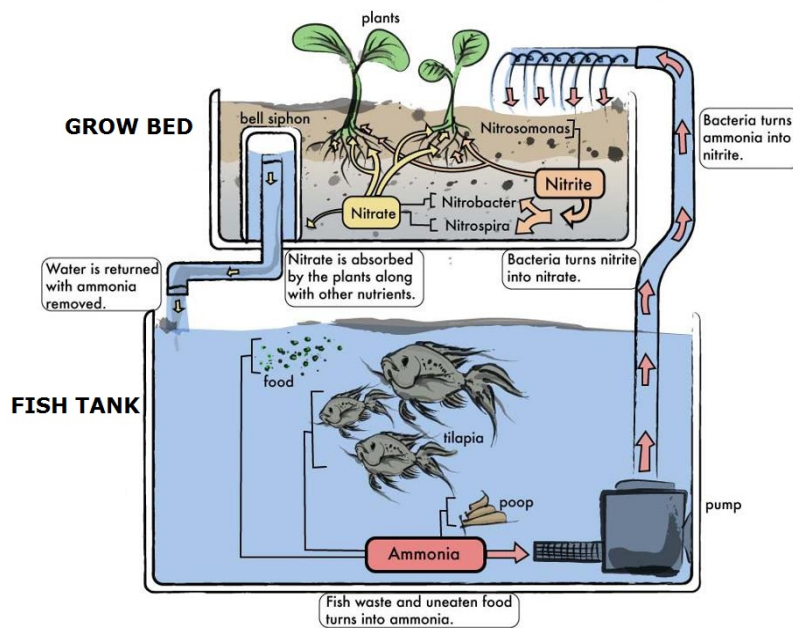


Figura 2. Esquema de funcionamento de um sistema de aquaponia [14].



Figura 3. Exemplo de um sistema de aquaponia residencial [15].

O pH ideal para as atividades das bactérias fica entre 7 e 8, enquanto que o pH ideal para as plantas está entre 6,5 e 7 [16]. Já o pH para os peixes varia em relação à espécie, mas está situado normalmente entre as faixas de 6,5 e 8 [17]. Quando o pH está distante de 7,4 os peixes podem apresentar crescimento lento, maior susceptibilidade a doenças e mau aproveitamento dos alimentos [11].

A proporção entre amônia e amônio (que é a amônia não ionizada) dissolvida na água se altera de acordo com o a variação do pH e da temperatura. Deve-se buscar manter uma quantidade baixa de amônio dissolvido na água pois é uma substância extremamente tóxica para os peixes. Por causa disso, caso os valores do pH se elevem, será necessário fazer uma correção adicionando um agente acidificante.

Outro cuidado com o pH, que também implica em sua correção ocasional, é o de que à medida que a amônia e o amônio na água vão sendo quebrados, o pH vai diminuindo e a água se tornando mais ácida, em decorrência da liberação de íons de H. Quando isso acontece, a eficiência do processo de nitrificação realizado pelas bactérias é reduzido, aumentando a quantidade de amônia e amônio na água.

A quantidade e a qualidade da ração também influenciam na qualidade da água [18]. Comida em excesso acaba não sendo ingerida pelos peixes, aumentando os níveis de matéria orgânica na água, o que pode desequilibrar o sistema. A concentração de oxigênio também irá variar após o arraçoamento, e para que não tenha uma grande variação, deve-se dividir a alimentação em várias vezes ao dia. Mas isso demanda tempo e cuidados muito maiores

Para que ambos, plantas e peixes vivam de maneira saudável no ambiente criado, é necessário manter bons níveis de oxigenação da água. Por isso o sistema de recirculação da água deve ser construído de forma a transferir oxigênio para a água dos tanques. Tal processo é normalmente realizado através de sopradores de ar e difusores, já que não existem no sistema vegetais capazes de adicionar oxigênio através da fotossíntese na água [16].

Além disso, cada tipo de cultivo de peixes requer parâmetros diferentes, tanto em relação à temperatura e pH da água quanto à quantidade de comida ingerida[6,11].

2.5. Análise de viabilidade de implementação de tecnologia

A partir da exploração do problema, sabe-se que diversas variáveis contribuem para o correto funcionamento do sistema, entre eles: Ph, temperatura, amônia, oxigênio dissolvido salinidade e biomassa dos peixes. Bem como são necessários algumas ações recorrentes por parte do produtor para manter o sistema em funcionamento, como aferições, limpeza, alimentação dos peixes e colheita dos vegetais.

Normalmente, esse acompanhamento é feito de forma manual pelo produtor, que deve medir diversos parâmetros do sistema, consultar tabelas e fazer cálculos. Este processo requer um grande conhecimento inicial e tempo despendido além do investimento em reagentes químicos, que são baratos porém mais difíceis de utilizar, ou sensores químicos, que são de fácil utilização, mas caros.

Desta forma, é possível perceber que há espaço para diversas automatizações no sistema, visando diminuir a carga de trabalho do produtor, aumentar a confiabilidade do sistema e tornar mais simples a sua operação. Dado o alto custo de alguns sensores e a necessidade de limpeza e calibração frequente de outros, percebe-se que deve existir uma relação ótima entre investimento e benefícios percebidos. Estipula-se que, por meio do acompanhamento de apenas algumas variáveis do sistema aliadas ao conhecimento prévio do seu comportamento, seja possível obter bons resultados em termos de controle.

3. Trabalhos Relacionados

Tanto no meio acadêmico quanto no meio comercial, existem diversas propostas que buscam solucionar os problemas relacionados à alimentação dos peixes por meio de automatizações. Porém, a vasta maioria dos trabalhos são dedicados aos cultivos de aquacultura apenas e não à aquaponia, em que o problema do excesso de ração na água é bem mais nocivo para o sistema. Por esta razão, quando se trata de automatizar o processo de arraçamento dos peixes, raramente leva-se em conta os parâmetros que definem o metabolismo dos peixes ou a toxicidade da água em um dado momento. Além disso, também não foi encontrada solução comercial com a proposta de auxiliar pequenos produtores integrando as facilidades de um alimentador automático com uma interface que proporcione aprendizado e monitoramento, como é o proposto neste trabalho.

Nos trabalhos de S. Nirwan , R. Swarnakar , A. Jayarajan e P. Shah [19] e M. Uddin, M. Rashid, M. Mostafa, H. Belayet, S. Salam, N. Nithe, M. Rahman e A. Aziz [20] foram

desenvolvidos alimentadores automáticos com o propósito de poupar tempo do operador através da configuração prévia do intervalo entre as refeições e quantidade distribuída.

S. J. Yeoh, F. S. Taip, J. Endan, R. A. Talib e M. K. Mazlina [21] de tal fizeram um trabalho similar porém voltado para a indústria de aquicultura. O princípio de funcionamento é o mesmo, regula-se o volume e o intervalo da ração a ser distribuída nos tanques e um atuador é acionado para liberar a quantidade adequada. Uma diferença importante neste trabalho porém é o desenvolvimento de um mecanismo alimentador com mais regulagens em termos de tamanho dos grãos de ração e raio de ação no qual o alimento será distribuído.

Em uma abordagem diferente para solucionar o mesmo problema, Y. Atoum, S. Srivastava e X. Liu [22] desenvolveram um sistema baseado em processamento de imagem, onde uma câmera é posicionada de forma a visualizar a superfície do tanque dos peixes. Com base nas imagens adquiridas, uma unidade de controle conta a quantidade de ração flutuante e decide se há ou não alimento disponível para os peixes.

4. Proposta

Com base na descrição do sistema de aquaponia dado, é possível perceber que a falta de tecnologia específica para este tipo de cultura está muito relacionada com as fragilidades do sistema. Em sua maioria, os problemas estão atrelados ao monitoramento incorreto ou falta dele, à interpretação incorreta dos parâmetros aferidos e à alimentação inadequada dos peixes.

Neste trabalho, portanto, será proposto a criação de um dispositivo capaz de monitorar alguns dos parâmetros mais relevantes da qualidade da água para então calcular a quantidade adequada de ração para os peixes, evitando problemas de nutrição e combatendo o excesso de matéria orgânica na água, que pode facilmente desestabilizar o sistema. A ração será dispensada através de um alimentador mecânico automático que também será desenvolvido e terá a capacidade de liberar pequenas quantidades de comida diversas vezes ao dia.

Já que o dispositivo fará o monitoramento de alguns parâmetros da água para controlar a alimentação dos peixes, é interessante também que tais leituras sejam acessíveis para o produtor, que poderá fazer um melhor acompanhamento do sistema de aquaponia e até receber alertas caso alguma ação precise ser tomada. Por isso, o dispositivo proposto contará com interface de usuário com acesso às leituras em tempo real, histórico de medidas e também informações sobre os cuidados e ações que devem ser executados.

O público alvo deste dispositivo será o pequeno produtor em aquaponia, produtores iniciantes ou hobbystas. Para esse público o valor final do produto deve ser baixo e o consumo energético mínimo pois, do contrário, não haveria retorno do investimento.

5. Decisões de projeto

Para definir os componentes do protótipo inicial do alimentador automático, foram feitas pesquisas e comparações dos principais aspectos que definem o seu funcionamento. São eles: tipos de sensores de qualidade da água, hardware escolhido para unidade de controle, tipo de mecanismo responsável por alimentar os peixes e forma de interface com o usuário.

5.1. Sensores de qualidade da água

Para realizar o correto acompanhamento da qualidade da água, é necessário o monitoramento de certos parâmetros com uma certa regularidade que pode variar entre uma medição diária até uma medição semanal. Idealmente, todos esses parâmetros deveriam ser medidos por meio de sensores eletrônicos, o que reduziria o trabalho do produtor e possibilitaria uma grande gama de automatizações do sistema. Contudo, por alguns dos sensores se tratarem de sensores químicos, nem todos possuem versões de baixo custo disponíveis no mercado.

→ Temperatura

O sensor de temperatura é a peça fundamental para o funcionamento do alimentador pois a temperatura da água está diretamente relacionado com o metabolismo dos peixes. Existem 2 sensores de temperatura amplamente utilizados em projetos como esse por serem de baixo custo e facilmente integráveis aos microcontroladores. São eles o LM35DZ e o DS18B20, o primeiro é um sensor analógico cuja temperatura é obtida através da leitura de uma tensão que varia enquanto que o segundo é um sensor digital que oferece as medidas de temperatura através do protocolo 1-Wire[23,24].

A precisão destes sensores é de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ e a faixa de operação é semelhante (de -55°C a 150°C para o LM35DZ e -55°C a $+125^{\circ}\text{C}$ para o DS18B20). Para utilizar o LM35DZ é necessário que a unidade de controle possua uma interface analógica ou utilizar um conversor analógico-digital, enquanto que para utilizar o DS18B20, basta uma entrada digital[23,24].

→ Ph

O sensor de pH fornece uma leitura fundamental para avaliar se o sistema de aquaponia está em equilíbrio e com níveis de acidez/alcalinidade adequados para sobrevivência dos peixes, plantas e microorganismos. As versões de baixo custo desse sensor são tipicamente formadas por um eletrodo e um amplificador operacional (op-amp). O eletrodo produz uma pequena diferença de potencial que varia conforme a acidez da solução em que esteja submerso que é amplificada pelo op-amp até uma faixa de tensão detectável por um conversor analógico-digital. O DFRobot SEN0161 é um bom exemplo deste tipo de sensor, sua faixa de operação é de 0 a 14PH com resolução de $\pm 0.1\text{PH}$. Este tipo de sensor deve ser limpo semanal ou quinzenalmente e recalibrado tipicamente a cada 6 meses quando imerso em soluções aquosas próximas do pH neutro[25].

→ Amônia

A amônia excretada pelos peixes pode se acumular na água e se tornar tóxica em casos em que a temperatura da água esteja muito elevada ou quando há um desequilíbrio no número de bactérias nitrificantes. Infelizmente sensores deste tipo são muito caros pois só existem versões designadas para aplicações industriais. Por isso, a maneira mais convencional e acessível para medir este parâmetro é com o uso de testes químicos em que se adiciona um reagente a uma amostra de água e se compara a coloração da amostra com uma tabela de cores para determinar os níveis de amônia [26].

→ **Oxigênio Dissolvido**

Este sensor fornece a quantidade existente de oxigênio dissolvida na água, em partes por milhão (ppm). Valores acima de 6 ppm são considerados ideais tanto para os peixes quanto para os cultivos de plantas, já valores abaixo de 4 ppm são nocivos para ambos. Sensores como esse não são muito comuns e bastante caros, havendo poucos fabricantes disponíveis no mercado. Um exemplo é o DFRobot SEN0237, sensor analógico que possui faixa de medição de 0 a 20 ppm e resolução de 0.2 ppm [27].

→ **Condutividade Elétrica**

Muito útil para medir os níveis de sais dissolvidos na água, como os nitratos que servem de alimentos para as plantas. Este, portanto, é um sensor que auxilia a verificar se o sistema está funcionando corretamente. Sensores deste tipo são encontrados em versões de baixo custo inclusive sendo bastante simples construir uma versão própria com bons resultados [28,38].

→ **Turbidez**

Sensores como este medem a turbidez da água, ou seja, o nível de partículas suspensas, o que pode ser um bom indicador do excesso de algas ou sujeira no aquário. Sensores de turbidez são bem acessíveis e bastante simples. Seu princípio de funcionamento se baseia na quantidade de luz que consegue atravessar uma porção da água que circula no aquário. Isso é feito com o uso de um LED IR para emitir luz e um fototransistor IR para captar parte da luz que foi emitida [29].

5.2. Atuadores (alimentador)

A função principal do sistema proposto é fornecer a quantidade correta de ração diária para os peixes. Idealmente essa tarefa deve ser realizada fracionando-se a dose diária de ração ao longo de vários momentos do dia. Para tal tarefa, foram selecionados os seguintes dispositivos para uma possível solução:

→ **Rosca transportadora (Parafuso de Arquimedes)**

Comumente utilizada para o transporte de grãos na indústria agrícola, possui fácil implementação pois depende apenas de um motor conectado ao seu eixo. Quando utilizado com um motor de passo ou algum mecanismo que controle o número de rotações, pode cumprir a tarefa de liberar quantidades precisas de ração.

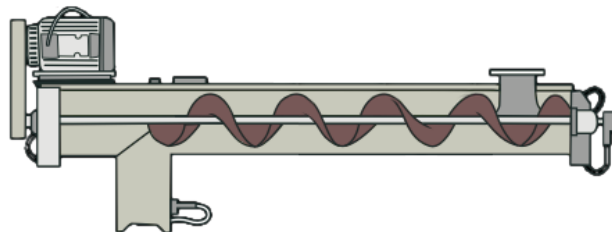


Figura 4. Vista em corte de um mecanismo de rosca transportadora. Adaptado de [30].

→ Mecanismo Dosador de Cereais

Mecanismo baseado em um produto muito comum no mercado americano, consiste em uma borboleta de borracha situada no fundo do compartimento de cereais onde existe uma abertura. Para que os cereais saiam, é necessário girar uma manivela que está acoplada à borboleta. A cada estágio movimentado, uma quantidade fixa de cereais saem pela abertura. Este mecanismo, se acoplado à um motor de passo, pode ser utilizado para liberar quantidades discretas de ração.

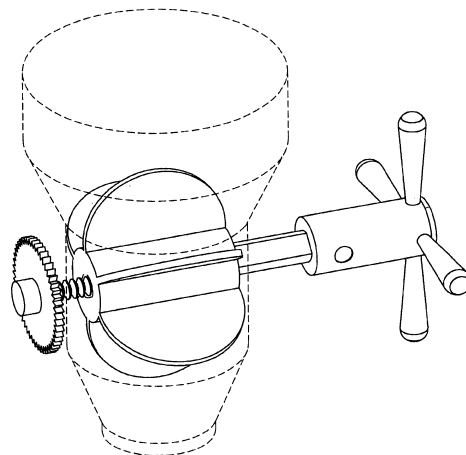


Figura 5. esquema de um mecanismo Dosador de Cereais. Adaptado de [31].

→ Abertura de Compartimento (atuador linear)

Este tipo de mecanismo é mais utilizado para permitir a passagem de unidades de um determinado objeto. Quando utilizado com ração, acaba por permitir a passagem de uma quantidade discreta do item, assim como no mecanismo anterior. Desta forma, a passagem de mais ou menos ração é feita acionando o mecanismo múltiplas vezes. Para funcionar, o dispositivo deve ser movimentado com o uso de um atuador linear.

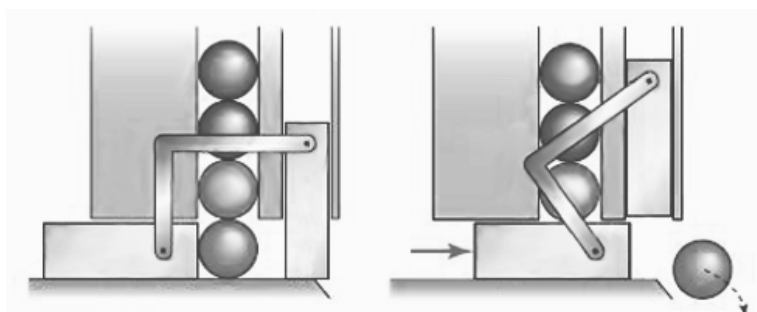


Figura 6. esquema de funcionamento de um dispenser de comida utilizando um atuador linear. Adaptado de [32].

5.3. Interface Humano Computador

No sistema proposto, a interação entre homem e máquina será fundamental pois o operador deverá realizar uma série de configurações iniciais e também fará o acompanhamento do funcionamento do sistema através dessa interface.

→ Display e teclado acoplados ao produto

Maneira mais simples de prover interação com o usuário, pois usa recursos de baixo custo e não necessita de protocolos de comunicação e restringe o acesso. Esta abordagem, contudo, oferece menor facilidade de uso, é pouco prática e requer que o usuário faça todas as operações necessárias diretamente sobre o aparelho.

→ Webapp acessível pela internet

Com esta abordagem, o usuário tem maior facilidade de configuração e monitoramento, podendo realizar as tarefas remotamente. Necessita de hardware capaz de realizar a comunicação com a internet e a implementação de dispositivos de segurança mais sofisticados.

→ App para celular acessível por rede local

Método que permite configuração e monitoramento facilitada através de um aplicativo para celular e que restringe o acesso a um perímetro ao próximo do dispositivo.

5.4. Unidade de controle

De acordo com as necessidades e restrições do projeto, resta selecionar o hardware que atuará como unidade de controle, responsável por tratar as leituras dos sensores, calcular a quantidade de comida a ser distribuída, comandar os atuadores do alimentador e ainda oferecer uma interface com o usuário para monitoramento e configuração.

→ Arduino

Placa de desenvolvimento baseada no microcontrolador de 8-bits Atmega328p da família AVR. Sua frequência de operação é de 16 Mhz, possui 32 kB de memória de programa e 2kb de memória SRAM. A placa Arduino trabalha com a tensão 5v e conta com 14 pinos de entrada e saída analógica (dos quais 6 são PWM) e 6 entradas analógicas[33]. Como a placa possui apenas interface para comunicação serial, requer o uso de algum dispositivo externo para fazer a comunicação sem fio com o celular.

→ ESP-8266

Placa que integra o baixo consumo do microcontrolador Tensilica L106 com a conectividade interface wi-fi. A unidade de controle trabalha com instruções de 32-bits, possui 4Mb de memória flash e pode rodar com clocks de 80Mhz e 160Mhz. A placa opera com tensão de 3.3V, possui 16 entradas e saídas digitais e 1 entrada analógica. Este hardware conta com diversas interfaces de comunicação dedicadas, como SPI, I2C e UART, além de implementar a pilha completa TCP/IP usada na comunicação Wi-fi. O desenvolvimento nesta

placa pode ser feito com o auxílio de um framework para desenvolvimento de firmware chamado nodeMCU[34].

→ **Raspberry Pi 2**

Placa de desenvolvimento destinada para aplicações que exijam maior poder computacional e execução de tarefas mais complexas. Embarcada com o processador BCM2836, que é um ARMv7 de quatro núcleos e memória ram de 1Gb. A placa conta com 17 portas de entrada e saída digital e sua tensão de trabalho da placa é de 3.3v. A Raspberry Pi foi desenvolvida para executar um sistema operacional linux, o que permite a execução de rotinas e bibliotecas mais complexas do que as utilizadas por microcontroladores de propósito geral. O ambiente linux possibilita a programação em diversas linguagens, como C, python, java, etc, não se limitando apenas a uma certa IDE de desenvolvimento[35,36].

5.5. Características do protótipo inicial

Com base nos itens vistos acima, que ajudam a definir o contorno do problema, foram tomadas algumas decisões de projeto, visando construir um protótipo do alimentador automático que seja de baixo custo mas que atenda perfeitamente as necessidades do produtor.

O projeto inicial contará com os sensores de temperatura, pH e condutividade elétrica visto que os demais sensores são caros ou pouco essenciais para o monitoramento do sistema de aquaponia. A medição da amônia tóxica, que também é importante no controle do sistema mas que não necessita de acompanhamento diário, ficará a cargo do produtor em uma frequência semanal [37].

Os níveis de oxigenação da água são cruciais para os peixes, porém se o sistema de circulação de água for projetado corretamente e o sistema for mantido limpo, é pouco provável que os níveis de oxigênio da água saiam do normal.

O sistema será composto por 4 partes: unidade de controle, sensoriamento, alimentador e interface com o usuário. Para a unidade de controle será utilizada a plataforma arduino por ser amplamente disponível no mercado, simples de programar e baixíssimo custo. Além disso, o Arduino possui a quantidade de entradas e saídas analógicas e digitais necessárias para utilizar os sensores escolhidos restando apenas adicionar um módulo de comunicação sem fio para atingir com totalidade os requisitos do projeto.

O mecanismo alimentador utilizará o sistema de rosca transportadora, por ser simples, efetivo e de fácil implementação. O dispositivo será movido por um motor elétrico brushed com redução de rotação 1000:1 acoplado diretamente ao eixo da barra roscada. A quantidade de ração será calculada com base no tempo de acionamento do motor.

Para tornar simples e prático o envolvimento tanto com o sistema de aquaponia quanto o próprio alimentador, a interface de usuário será por meio de um aplicativo desenvolvido para celulares android que terá como objetivo auxiliar o produtor no setup inicial do alimentador (calibração dos sensores, especificações do aquário e configuração de alarmes) e também no monitoramento do sistema ao longo da sua operação normal.

6. Desenvolvimento

Definidos os mecanismos do alimentador, resta traçar os passos do desenvolvimento e como tudo se interconectará. A unidade de controle será programada em C++, linguagem nativa da IDE Arduino. A leitura dos sensores de pH e condutividade elétrica será feita usando duas das interfaces analógicas da placa. O sensor de temperatura utiliza o protocolo 1-Wire e será conectado a uma das interfaces digitais da placa. O módulo wifi que será acoplado ao arduino, permitindo sua comunicação com o celular, será o ESP-05 e a comunicação entre ambos será através da porta serial do arduino, utilizando uma biblioteca open source disponível na IDE Arduino.

A comunicação sem fio entre a unidade de controle e o aparelho celular será por Wi-fi conforme o protocolo IEEE 802.11 e o Arduino irá hospedar um servidor http para responder às requisições do app android utilizando JSON. O App será desenvolvido no Android Studio e contará com telas de calibração dos sensores, configuração dos parâmetros do aquário e gráficos de monitoramento.

6.1. Esquemático

A seguir serão apresentadas as vistas de um modelo em 3D desenvolvido para ilustrar o funcionamento e os componentes do alimentador inteligente proposto neste trabalho.

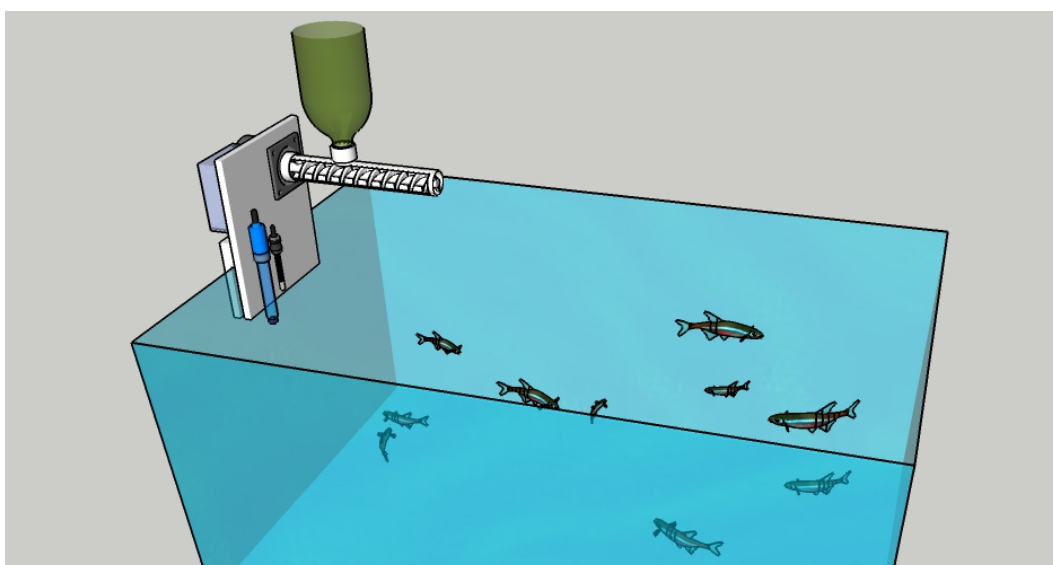


Figura 7. Modelagem 3D do alimentador inteligente a ser desenvolvido.

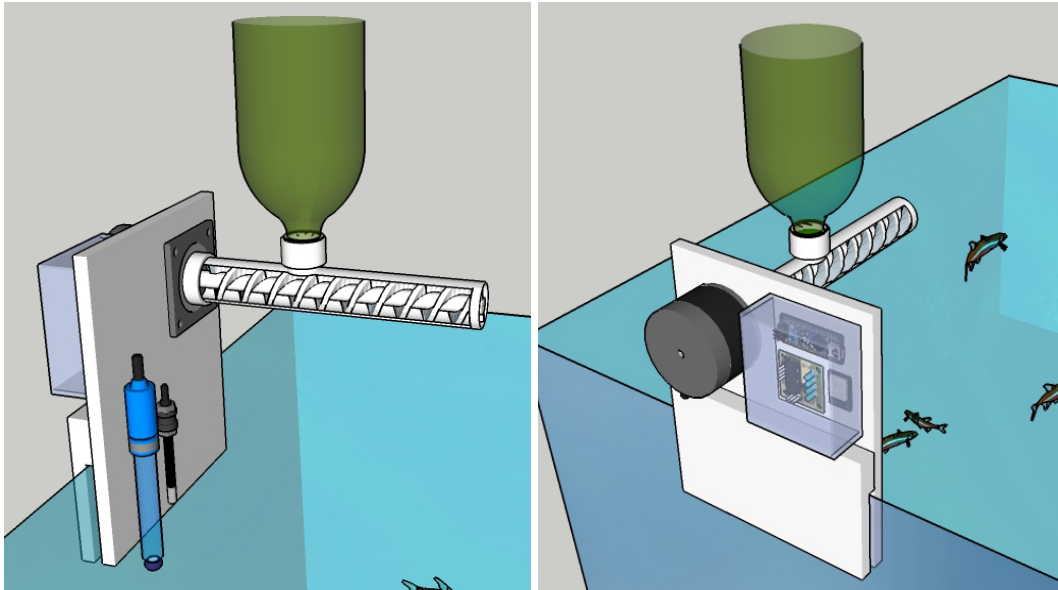


Figura 8. Detalhes do alimentador inteligente a ser desenvolvido.

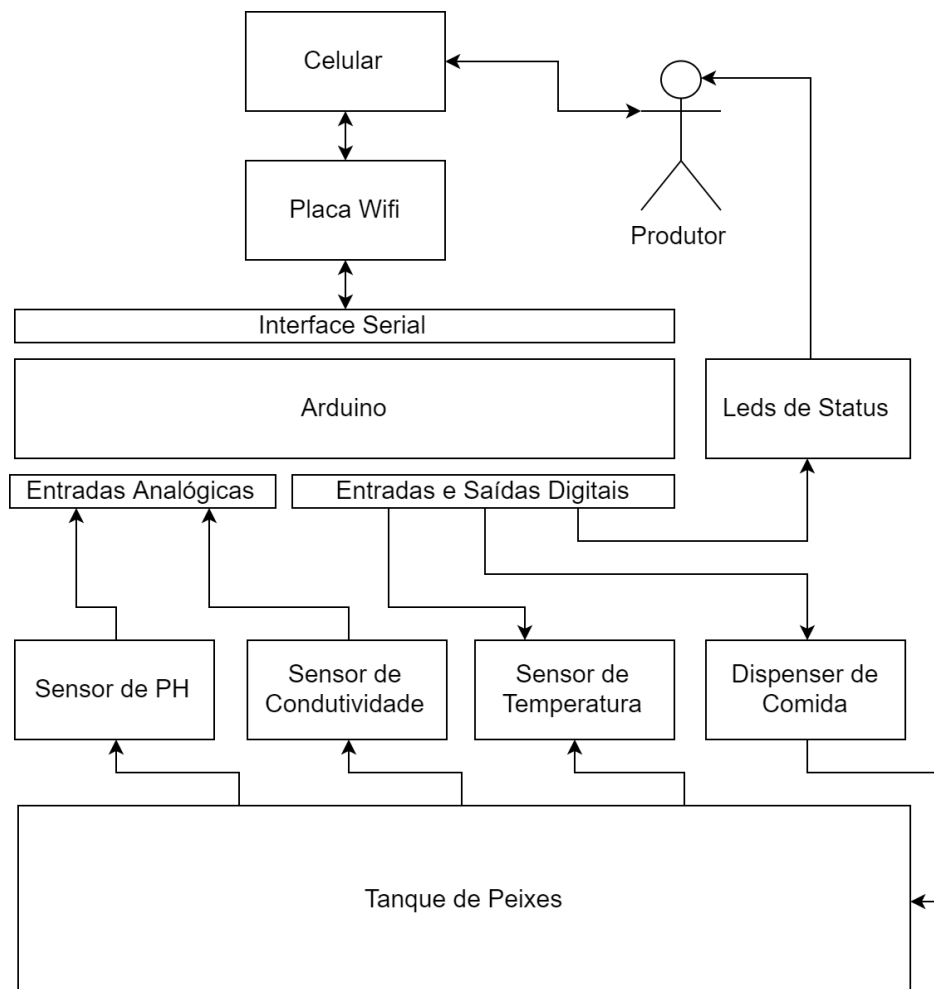


Figura 9. Diagrama que mostra os componentes do projeto e como interagem uns com os outros.

7. Validações

Com o dispositivo pronto, será necessário realizar uma série de validações. É importante verificar se o sistema está realmente funcionando como o proposto, ou seja, está calculando corretamente a quantidade de alimento e reportando corretamente os valores dos sensores. Isso será feito em um sistema de aquaponia real, já em funcionamento, fazendo o acompanhamento manual da qualidade da água e observando o comportamento dos peixes e plantas.

Também será necessário validar se os valores lidos pelos sensores são confiáveis e se o algoritmo de calibração está funcionando corretamente. Isso será feito através de comparações com sensores de maior valor e confiabilidade.

Por fim, será realizado testes com usuários para verificar características como facilidade de operação e percepção de valor tanto do alimentador em si quanto da interface pelo celular.

8. Conclusão

A agricultura urbana está se fortificando como real alternativa para produção de alimentos. Com ela, práticas de produção de alimentos em pequenas áreas, de maneira descentralizada, estão ganhando escala. A aquaponia é um bom exemplo disso, pois tem capacidade de produzir alimentos com alta eficiência em grandes ou pequenos espaços.

Quando se fala em pequenos espaços, na maioria das vezes estamos nos referindo ao trabalho de pequenos produtores, produtores iniciantes ou pessoas que exercem esta atividade como hobby. Ao tomarmos essas pessoas como público alvo para um sistema que automatize e facilite a implementação da aquaponia percebemos que é no controle da quantidade de ração e no monitoramento da qualidade da água os pontos que mais demandam energia e tempo. Em vista disso, a criação de um dispositivo para controle da produção é altamente benéfico, facilitando a vida do pequeno produtor.

Durante o estudo, notou-se que já foram implementadas algumas soluções viáveis e semelhantes à proposta, todavia, direcionadas para a aquacultura. Porém, esse trabalho traz uma solução inovadora, pois trata do cultivo específico da aquaponia analisando parâmetros diretamente relacionados com a qualidade da água e sua toxicidade para então calcular e dispersar a quantidade de alimento adequada ao crescimento saudável dos peixes sem desestabilizar o sistema.

9. Tarefas e Cronograma

Com base no que foi proposto, foram listadas todas as tarefas mais importantes que precisam ser concluídas a fim de atingir os objetivos deste trabalho bem como uma estimativa de quando elas deverão ser executadas a fim de concluir o Trabalho de Graduação no final do primeiro semestre de 2018.

Lista de tarefas:

- A. Testar sensores adquiridos e seu funcionamento em conjunto com o Arduino utilizando o ambiente de desenvolvimento selecionado.
- B. Desenvolver e implementar a máquina de estados do alimentador.
- C. Definir alarmes e triggers de eventos.
- D. Criar rotina de calibração dos sensores.
- E. Construir e testar o alimentador.
- F. Desenvolver app para android.
- G. Implementar e testar a comunicação via wi-fi.
- H. Testar o sistema em ambiente real.
- I. Validação da interface gráfica com o usuário.
- J. Escrever o trabalho de graduação.

Tabela 1. Cronograma referenciando as tarefas mapeadas.

	Cronograma de trabalho para 2018					
Tarefas	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun
A	X					
B	X	X				
C	X	X				
D			X			
E			X			
F				X		
G				X		
H					X	
I					X	X
J					X	X

10. Referências

[1] <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Highlights.pdf>

[2] PIRES, V.C. Agricultura Urbana como Fator de Desenvolvimento Sustentável: Um Estudo na Região Metropolitana de Maringá. Universidade Estadual de Maringá, 2016.

[3] <http://agriculturaurbana.org.br/RAU/AU01/AU1conceito.html>

[4] <http://www.aquaponicsiberia.com/aquaponia>

- [5] DIVER, S. Aquaponics—Integration of Hydroponics with Aquaculture. National Sustainable Agriculture Information Service, Washington, EUA. 2006.
- [6] BRAZ FILHO, M.S.P. Qualidade na produção de peixes em sistema de recirculação de água. Monografia (Pós Graduação em Qualidade nas Empresas) - Centro Universitário Nove de Julho, São Paulo. 2000.
- [7] HUNDLEY, G.C.; NAVARRO, R.D. Aquaponia: a integração entre piscicultura e a hidroponia. Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável, v. 3, n. 2, 2013.
- [8] <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2767622/integrar-criacao-de-peixes-com-hortalicas-economiza-90-de-agua-e-elimina-quimicos>
- [9] CARNEIRO, P.C.F. et al. Aquaponia: produção sustentável de peixes e vegetais. Macapá, 2015.
- [10] HERBERT, S. et al., Aquaponics in Australia - The integrations of Aquaculture and Hydroponics. Mudge, Australia, 2008.
- [11] SÁ, M.V.C. Limnocultura: limnologia para aquicultura. Fortaleza: Edições UFC. 2012.
- [12] SALLENAVE, R. Important Water Quality Parameters in Aquaponics Systems. College of Agricultural, Consumer and Environmental Sciences of NM State University, Las Cruces, New Mexico, 2016.
- [13] RICHE, M. e GARLING, D. Feeding Tilapia in Intensive Recirculating Systems. North Central Regional Aquaculture Center, UK, 2003.
- [14] <http://www.diyaquaponicssystems.org/>
- [15] <http://aquaponicsphilippines.com/wp-content/uploads/2013/01/Aquaponics-illustration.jpg>
- [16] KUBITZA, F. Sistemas de Recirculação: Sistemas Fechados com Tratamento e reuso da Água. Panorama da Aqüicultura , 2006.
- [17] OLIVEIRA, S.D. Sistema de Aquaponia. Projeto Orientado da Universidade Federal de Goiás, Jataí, GO, 2016.
- [18] SILVA, V.K.; FERREIRA, M.W.; LOGATO, P.V.R. Qualidade da água na Piscicultura. Boletim de Extensão da UFLA, Lavras, MG, 2001.
- [19] NIRWAN, S.; SWARNAKAR, R.; JAYARAJAN, A.; SHAH, P. The Development Of Automatic Fish Feeder System Using Arduino Uno. International Journal Of Modern Trends In Engineering And Research, 2017.

- [20] UDDIN, N.; RASHID, M.; MOSTAFA, M.; BELAYET, H.; SALAM, S. NITHE, N.; RAHMAN, M.; AZIZ, A. Development of Automatic Fish Feeder. Global Journal of Researches in Engineering: A Mechanical and Mechanics Engineering, 2016.
- [21] YEOH, S.J.; TAIP, F.S.; ENDAN, J.; TALIB, R.A.; and MAZLINA, M.K.S. Development of Automatic Feeding Machine for Aquaculture Industry. Department of Process and Food Engineering, Universiti Putra Malaysia, Selangor, Malaysia, 2010.
- [22] ATOUM, Y.; SRIVASTAVA, S.; LIU, X. Automatic Feeding Control for Dense Aquaculture Fish Tanks. IEEE Signal Processing Letters, 2015.
- [23] <https://cdn.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temp/DS18B20.pdf>
- [24] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm35.pdf>
- [25] [https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter\(SKU:_SEN0161\)](https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/PH_meter(SKU:_SEN0161))
- [26] <http://alconpet.com.br/produto/labcon-test-amonia-toxica-agua-doce>
- [27] https://www.dfrobot.com/wiki/index.php/Gravity:_Analog_Dissolved_Oxygen_Sensor_SKU:SEN0237#More
- [28] <https://hackaday.io/project/7008-fly-wars-a-hackers-solution-to-world-hunger/log/24646-three-dollar-ec-ppm-meter-arduino>
- [29] MYLVAGANARU, S.; JAKOBSEN, T. Turbidity Sensor For Underwater Applications. OCEANS '98 Conference Proceedings, Nice, France, 1998.
- [30] <https://manufacturing.worksafe.govt.nz/topic-and-industry/machinery/screw-conveyors/>
- [31] <https://www.google.com/patents/US6964355>
- [32] <http://www.chegg.com/homework-help/questions-and-answers/mechanism-gumball-machine-shown-fig1-2-begin-dispensing-gumball-shown-fig1-horizontal-forc-q3373880>
- [33] <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>
- [34] http://espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf
- [35] <https://learn.adafruit.com/assets/22828>
- [36] <https://www.raspberrypi.org/documentation/usage/gpio/>
- [37] http://southcenters.osu.edu/sites/southc/files/site-library/site-documents/abc/aquaponics_workshop/aquaponic_resources/WaterQualityStation.pdf
- [38] <https://www.dfrobot.com/product-1123.html>