



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO PROFISSIONAL EM
MODELAGEM COMPUTACIONAL DE SISTEMAS
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE PALMAS-TO

WILMAR BORGES LEAL JUNIOR

**MODELAGEM DE UM SISTEMA MULTIPARÂMETRO
PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

Palmas-TO
Dezembro / 2019

WILMAR BORGES LEAL JUNIOR

**MODELAGEM DE UM SISTEMA MULTIPARÂMETRO
PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA
UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação Profissional em Modelagem Computacional de Sistemas da Universidade Federal do Tocantins como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas (PPGMCS/UFT).

Orientador: Prof. Dr. Humberto Xavier de Araujo

Palmas-TO
Dezembro / 2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

L435m LEAL JUNIOR, WILMAR BORGES.
MODELAGEM DE UM SISTEMA MULTIPARÂMETRO PARA
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA UTILIZANDO
INTERNET DAS COISAS. / WILMAR BORGES LEAL JUNIOR. – Palmas,
TO, 2019.
69 f.

Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do
Tocantins – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação
(Mestrado) em Modelagem Computacional de Sistemas, 2019.
Orientador: Humberto Xavier de Araujo

1. Internet das Coisas. 2. Monitoramento da água. 3. Automação. 4.
Multiparâmetro. I. Título

CDD 4

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFT com os
dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

FOLHA DE APROVAÇÃO

WILMAR BORGES LEAL JUNIOR

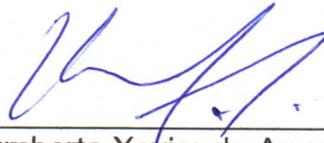
MODELAGEM DE UM SISTEMA MULTIPARÂMETRO PARA
MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA UTILIZANDO
INTERNET DAS COISAS

Dissertação apresentada ao programa de Pós-Graduação em Modelagem Computacional de Sistemas. Foi avaliada para obtenção do título de Mestre em Modelagem Computacional de Sistemas e aprovada em sua forma final pelo orientador e pela Banca Examinadora.

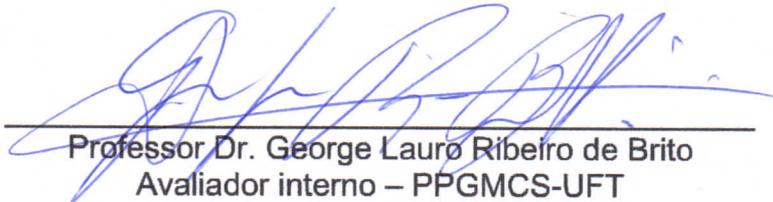
Orientador: Prof. Dr. Humberto Xavier de Araujo

Data de aprovação: 10 / 12 / 19

Banca Examinadora



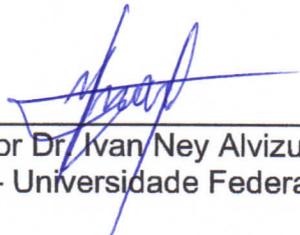
Professor Dr. Humberto Xavier de Araujo
Orientador – PPGMCS-UFT



Professor Dr. George Lauro Ribeiro de Brito
Avaliador interno – PPGMCS-UFT



Professor Dr. Gentil Veloso Barbosa,
Avaliador interno – PPGMSC-UFT



Professor Dr. Ivan Ney Alvizuri Romani
Avaliador externo – Universidade Federal do Tocantins - UFT

Palmas-TO, 2019

AGRADECIMENTOS

Colocar os agradecimentos deste trabalho em apenas uma página é uma tarefa difícil, dada a quantidade de pessoas que contribuíram direta ou indiretamente para que o mesmo pudesse ser realizado.

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, por permitir que aqui estivéssemos, com saúde e serenidade para concluir esse trabalho.

Agradeço, ao meu orientador, professor Humberto Xavier de Araujo, por me mostrar os caminhos que uma pesquisa e um pesquisador devem percorrer. Sei que, mesmo terminando essa etapa, tenho muito a aprender com ele.

Agradeço a todo corpo docente da Universidade Federal do Tocantins, especialmente ao professor George Lauro Ribeiro de Brito a qual muito contribuiu para a concretização desse trabalho.

Meus agradecimentos também vão aos colegas do Instituto Federal do Tocantins, especialmente ao professor Fabiano Medeiros Tavares e Ítalo Cordeiro Silva Lima que contribuíram sobremaneira para conclusão dessa obra.

E meus sinceros agradecimentos para meu grande amigo que muito me auxiliou nesse percurso, Dieyson Rodrigues de Moura a qual muito me ajudou de todas as formas.

Agradeço também a Reitoria do Instituto Federal do Tocantins, pelo auxílio financeiro e o afastamento concedido para que eu pudesse concretizar este trabalho.

Por fim, gostaria de agradecer a paciência e o companheirismo da minha esposa Suzane Aparecida Cordeiro e meus filhos Eduardo Nathan Cordeiro Borges e Sofia Cordeiro Borges Leal. Sem eles este trabalho não seria possível de ser realizado.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e aplicação prática de um sistema de automação para o monitoramento da qualidade da água, utilizando o conceito de Internet das Coisas – IoT. O sistema integrado de monitoramento da qualidade da água para apoio e suporte à decisão será implantado e utilizado no Instituto Federal do Tocantins, no *campus* Dianópolis-TO, com o propósito de auxiliar os profissionais da Ciências Agrárias no monitoramento automático da qualidade da água com aplicação inicial no sistema de hidroponia. Esse novo paradigma de desenvolvimento nos permite integrar sensores de baixo custo a sistemas embarcados, criando assim um agrupamento de objetos físicos interconectados, incorporados à eletrônica, software, sensores e conectividade de rede. Esta implementação tem como objetivo analisar a viabilidade no desenvolvimento de um sistema de baixo custo para monitoramento da qualidade da água. Em síntese, a aplicação inicial será realizada em sistema de hidroponia, dessa forma, foi testado o sistema integrado de monitoramento e apoio a decisão, verificando a viabilidade do uso para suporte ao pesquisador na coleta automática e análise dos dados, contribuindo de modo significativo para coleta e tomada de decisão.

Palavras-chaves: Internet das Coisas, Monitoramento da água, Automação, Multiparâmetro.

ABSTRACT

This work presents the development and practical application of an automation system for water quality monitoring, using the concept of internet of things - IoT. The integrated water quality monitoring system for decision support and support will be implemented and used at the Federal Institute of Tocantins, *campus* Dianópolis-TO, with the purpose of assisting Agrarian Sciences professionals in the automatic monitoring of water quality with application hydroponics system. This new development paradigm allows us to integrate low-cost sensors into embedded systems, thereby creating a cluster of interconnected physical objects, embedded in electronics, software, sensors, and network connectivity. This implementation aims to analyze the feasibility of developing a low cost system for monitoring water quality. In summary, the initial application will be performed in a hydroponics system, thus, the integrated monitoring and decision support system was tested, verifying the feasibility of use to support the researcher in the automatic collection and analysis of data, contributing significantly to collection and decision making.

Keywords: Internet of Things, Water Monitoring, Automation, Multiparameter.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Dispositivos conectados por pessoa	21
Figura 2: Fases do modelo baseado em componentes	23
Figura 3: Processo de seleção dos estudos para revisão da literatura.....	25
Figura 4: Wemos Lolin32 Lite	29
Figura 5: Módulo e sonda para aferição do pH	31
Figura 6: Sensor de temperatura e umidade DHT11.	32
Figura 7: Módulo de Condutividade Elétrica (EC). Adaptado DFRobot Gravity.....	33
Figura 8: Condutímetro	33
Figura 9: Módulo e sonda para aferição de temperatura da água.....	34
Figura 10: Módulo Tiny RTC I2C.....	35
Figura 11: Módulo para cartão de memória	35
Figura 12: Bateria <i>pineng</i> 5000mAh PN-905.....	36
Figura 13: Caixa hermética 14x5x10 cm.....	37
Figura 14: Início da montagem, visão geral	38
Figura 15: Corte na caixa e encaixe das peças	38
Figura 16: : Ligação elétrica dos LED'S e Botões.....	39
Figura 17: Plug de conexão do sensor de temperatura	39
Figura 18: Circuito elétrico e pinagem do protótipo	40
Figura 19: IDE do Arduino - Gerenciador de bibliotecas	41
Figura 20: Dados do sensor de temperatura e umidade.....	42
Figura 21: Visualização dos dados	43
Figura 22: Painel de configuração do ThingSpeak.....	44
Figura 23: Esquema de funcionamento do sistema proposto	45
Figura 24: Vista de cima, liga-desliga e LED's indicador	46
Figura 25: Sistema de alimentação do circuito.....	47
Figura 26: Sistema integrado montado na <i>protoboard</i>	48
Figura 27: Conectores BNC do CE e pH.....	48
Figura 28: Conexões carregador da bateria e conector de temperatura.....	49
Figura 29: Eletrodo dos sensores utilizados	49
Figura 30: Funcionamento do sistema.....	50
Figura 31: Imagem real do equipamento utilizado para os testes.....	52
Figura 32: Potenciômetro para regulagem.....	53

Figura 33: Resultados alcançados nos testes	54
Figura 34: Banca de testes do pHmetro.....	54
Figura 35: Escala do pH	55
Figura 36: Resultado do teste e validação na solução de magnésio	55
Figura 37: Higrômetro digital para validação do sistema proposto.....	57
Figura 38: Condutímetro utilizado para os testes	58
Figura 39: Validação do sensor de condutividade elétrica	59
Figura 40: Resultados da comparação entre o sensor comercial e o sistema proposto	60
Figura 41: Gravação dos dados no cartão SD.....	60
Figura 42: Tese com o sensor de temperatura	61

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Base de dados utilizada na realização das buscas.	24
Quadro 2: Processo de análise e seleção dos estudos por base de dados	26
Quadro 3: Trabalhos selecionados para revisão.	28
Quadro 4: Dados técnicos do microcontrolador utilizado.	30
Quadro 5: Especificações técnicas do módulo pH e Sonda.....	30
Quadro 6: Relação entre a saída do eletrodo e seu pH relacionado.	31
Quadro 7: Especificações técnica do DHT11 (Sensor de temperatura e umidade).....	32
Quadro 8: Especificações técnicas adaptado do fabricante.	34
Quadro 9: Especificações técnicas do micro SD <i>Card</i>	35
Quadro 10: Especificações técnicas sensor de temperatura	40
Quadro 11: Bibliotecas utilizadas na programação	41
Quadro 12: Validação sensor temperatura e umidade	57
Quadro 13: Valor médio da aquisição dos componentes	62
Quadro 14: Valor médio de equipamento similar encontrado no mercado.....	63

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>Application Programming Interface</i>
BNC	<i>Bayonet Neil-Concelman ou British Naval Connector</i>
CE	Condutividade Elétrica
CSV	<i>Comma-Separated Values</i>
Embrapa	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FUNASA	Fundação Nacional de Saúde
GND	<i>graduated neutral density filter</i>
IBSG	<i>Internet Business Solutions Group</i>
IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado
IEEE	Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos
IFTO	Instituto Federal do Tocantins
IoT	<i>Internet of Things</i>
JST	<i>(Japan Solderless Terminal).</i>
LE	<i>Low Energi</i>
LED	<i>Light - Emitting Diode</i>
LiPo	<i>Lithium polymer battery</i>
MQTT	<i>Message Queuing Telemetry Transport</i>
mV	<i>Millivolts</i>
ORP	<i>Oxidation Reduction Potential</i>
pH	Potencial Hidrogeniônico
RTC	<i>Real-Time Clock</i>
SD	<i>Secure Digital</i>
SDHC	<i>SD High Capacity</i>
TI	Tecnologia da Informação
UFT	Universidade Federal do Tocantins
usb	Universal Serial Bus
VCC	voltagem em corrente contínua
WiFi	<i>Wireless Fidelity</i>
4G	Quarta geração de telefonia móvel

SUMÁRIO

CAPÍTULO I.....	15
1. Introdução.....	15
1.1 Delimitação do escopo.....	16
1.2 Justificativa	17
1.3 Objetivo geral.....	18
1.4 Objetivo específico	18
1.5 Organização da dissertação.....	18
CAPÍTULO II.....	19
2. Referencial Teórico	19
2.1 Crescimento e uso da Internet das Coisas.....	21
CAPÍTULO III	22
3. Metodologia.....	22
3.1 Características da Pesquisa	22
3.2 Pesquisa Bibliográfica	24
3.2.1 Definição dos termos de busca	24
3.2.2 Critérios de inclusão e exclusão	25
CAPÍTULO IV.....	29
4. Especificações do sistema multiparâmetro.....	29
4.1 Caracterização dos componentes utilizados.....	29
4.1.1 Microcontrolador WEMOS LOLIN <i>Lite</i>	29
4.1.2 Sensor Eletrônico de pH.....	30
4.1.3 Módulo sensor de temperatura ambiente.....	32
4.1.4 Sensor de condutividade elétrica	33
4.1.5 Sensor de Temperatura	34
4.1.6 Módulo RTC (Real Time Clock).....	35

4.1.7	Módulo SD Card.....	35
4.1.8	Sistema de alimentação do circuito	36
4.1.9	Caixa hermética	36
4.1.10	LED Externo.....	37
4.2	Montagem da plataforma	37
4.3	Programas utilizados (<i>Software</i>).....	41
4.4	Testes de bancada	42
4.5	Visão geral do funcionamento do sistema	45
CAPÍTULO V		46
5.	Resultado e análise	46
5.1	Resultado da solução integrada.....	46
5.2	Esquema lógico do funcionamento do sistema.....	49
5.3	Validação do modelo proposto	51
5.3.1	Validação do sensor de pH.....	52
5.3.2	Validação do sensor de temperatura e umidade	56
5.3.3	Validação e calibração do sensor de condutividade elétrica	57
5.3.4	Validação do sensor de Temperatura da água	59
5.4	Comparação custo e produtividade.....	62
5.4.1	Custo dos equipamentos	62
5.4.2	Equipamento similar encontrado no mercado	62
CAPÍTULO VI.....		64
6.	Considerações finais	64
6.1	Trabalhos futuros	65
REFERÊNCIAS.....		66
APÊNDICES		69

CAPÍTULO I

1. Introdução

A Internet das Coisas, em inglês *Internet of Things* (IoT), é uma tecnologia em crescente procura e aprimoramento, tanto como objeto de estudo e pesquisa como ferramenta de apoio e suporte em diversas áreas. No campo agrícola a (IoT) oferece diversas possibilidades de uso, desde coleta de dados ambientais através de sensores instalados remotamente ao uso com atuadores para suporte e apoio a tomada de decisão.

É importante salientar que há variados métodos e ferramentas utilizadas para analisar a qualidade da água. Trabalho como o de Leão *et al.* (2014) apresenta a metodologia e os materiais utilizados para realização dessas análises. O procedimento convencional comumente utilizado para realização dos testes é a coleta manual onde as amostras são colhidas manualmente enviando-as a um laboratório.

Esse procedimento está descrito no Manual prático de análise da água, (2013), desenvolvido pelo Ministério da Saúde através da Fundação Nacional da Saúde – FUNASA, ou a realização de testes *in situ*, com aparelhos, realizando anotação manual dos dados coletados, como demonstrado no trabalho de Parron *et al.* (2011, p. 29 e Macedo *et al.* (2018, p. 59).

Frisa-se que a um amplo conjunto de variáveis físico-químicas que devem ser monitorados para uma melhor produtividade, como mostra o trabalho de Li; Liu (2019, p. 58). O desenvolvimento de novas tecnologias para de monitoramento e controle do ambiente aquático, especialmente em sistemas hidropônicos, que é um conjunto de técnicas de cultivo de planta sem uso do solo, Egídio; Levy (2013), onde vem se tornando uma importante ferramenta para automação, suporte apoio a tomada de decisão.

Os sistemas embarcados vêm tomando cada dia mais espaço no ambiente produtivo devido ao seu custo-benefício e a alta variedade de sensores disponíveis no mercado. É importante registrar que, esses sistemas estão em crescente demanda por parte de pesquisadores e apaixonados por tecnologia. Como resultado, esse conjunto de *hardware* embarcado e *software* recebeu o nome de Internet das Coisas, ou IoT (*Internet of Things*), como é comumente conhecido.

Para melhor produtividade em sistemas hidropônicos, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa, em seu manual de boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia, escrito por Queiroz *et al.* (2017), recomenda o monitoramento diário da qualidade

da água para esse modelo de cultivo. Convém destacar que, a proposta apresentada visa automatizar o processo de mensuração e coleta de dados, da qualidade da água, através do desenvolvimento e utilização de um sistema, multiparâmetro, adaptável e de baixo custo.

Além disso, o sistema enviará os dados através da internet para um servidor, onde poderá ser consultado a qualquer tempo e até mesmo em tempo real. A frequência das aferições realizadas pelo sistema poderá ser facilmente programada, conforme a necessidade do pesquisador.

Nessa perspectiva, percebe-se que um dos inconvenientes para o pesquisador é o deslocamento necessário para envio da coleta e análise da água, sua logística de deslocamento. Em face a situação descrita, implementou-se um sistema de baixo custo que realiza aferições automáticas da qualidade da água, através de sensores eletrônicos, onde, os dados são armazenados e enviados para um sistema *on-line* para análise, controle e tomada de decisão.

A necessidade do monitoramento automático, através de sensores eletrônicos, vem se tornando uma realidade crescente. Os benefícios da utilização de sistemas interconectados são inúmeros, desde o custo até a automação de um processo. Além disso, as redes de sensores sem fio (WSN's), termo em inglês que se refere a "*Wireless Sensor Network*", oferecem inúmeras possibilidades de aplicações para controle e monitoramento.

Estes dados confirmam a literatura discutida no referencial teórico como aponta o trabalho de, Chen e Han, (2018), onde foi desenvolvido uma rede de sensores para monitoramento da qualidade da água ao longo do Rio Avon na Inglaterra¹ e desde então, vem disponibilizando esses dados *on-line* para eventual tomada de decisão e análise por pesquisadores e autoridades locais.

Nessa ótica esse trabalho tem por finalidade o desenvolvimento de um sistema móvel, multiparâmetro de baixo custo, comparado aos utilizados no mercado, com envio dos dados coletados para um banco de dados na internet e gravação interna.

1.1 Delimitação do escopo

Este trabalho de pesquisa delimitou-se a modelar um sistema para coleta e análise de dados, multiparâmetro com aplicação inicial em sistema hidropônico. O presente projeto tem como *stakeholders*, pesquisadores e produtores que necessitam monitorar a qualidade da

¹ <https://environment.dk/water-quality/data/sample/MD-04787610-20190617-4730514.html>

água, tanto para pesquisa quanto para cultivos em sistemas hidropônicos, onde há uma maior necessidade de controle e inspeção da qualidade da água em busca de uma melhora na produtividade.

Tendo em vista as especificidades na condução do experimento com o modelo proposto, foi realizado testes com o sistema montado na *protoboard*. Dessa forma, paralelamente, realizou-se medições com os sistemas fornecidos pelo Instituto Federal do Tocantins, *campus* Dianópolis com a finalidade de homologar os dados aferidos e testar sua usabilidade na coleta de dos dados em relação aos atuais utilizados no *campus*.

1.2 Justificativa

Justifica-se a escolha da abordagem e do método utilizado uma vez que, numerosos são os dispositivos desenvolvidos para monitoramento da qualidade da água. Levando em consideração o baixo custo dos sistemas embarcados, esses, podem ser desenvolvidos para facilitar a coleta e análise de dados de forma automática com uso de sensores eletrônicos. No desenvolvimento de um protótipo com essa finalidade é necessário que seja levado em conta seu custo, pois o mesmo, deve ser, mais em conta que o existente no mercado, ou pelo menos com mais funcionalidades, agregando valor ao produto.

Quando se trata desse tipo de sistema, a ponte entre uma ideia e um produto viável está no projeto de um protótipo funcional. Para que se possa realizar esse projeto há várias etapas a serem seguidas, desde o planejamento e escolha dos componentes, sempre levando em conta sua necessidade e o grupo a ser atendido. A estruturação, implementação e validação tem por finalidade identificar problemas e corrigi-los.

Além disso, a automação de um sistema hidropônico permitirá uma redução de erros no controle dos fatores de produção relacionados a qualidade da água, que proporcionará uma maior produtividade e melhor qualidade do seu produto, Alberoni (1998).

Pelo motivo exposto, esta pesquisa justifica-se por uma questão norteadora, onde analisou-se ao longo da trajetória da pesquisa: É viável o desenvolvimento de um sistema, utilizando *hardware* embarcado, multiparâmetro para monitoramento da qualidade da água utilizando sensores eletrônicos. Quais os benefícios que o sistema trará em relação aos sistemas concorrentes encontrados no mercado.

1.3 Objetivo geral

Modelar um sistema de baixo custo, multiparâmetro, utilizando sistemas embarcados, conectados à internet, para o monitoramento da qualidade da água permitindo a coleta e armazenamento *online* dos dados para análise minimizando os erros e os custos operacionais.

1.4 Objetivo específico

1. Desenvolver uma modelagem, de uma solução integrada, multiparâmetro para monitoramento da qualidade da água;
2. Validar o uso do sistema, por comparação, com outros sensores, através de testes em sistemas hidropônicos;
3. Comparar os custos e a produtividade em relação aos sistemas comerciais utilizados no mercado.

1.5 Organização da dissertação

A dissertação está organizada em 5 capítulos correlacionados. A seguir, apresenta-se uma breve descrição de cada um dos capítulos.

Capítulo I - trabalhou-se a introdução, por meio de uma contextualização do tema proposto, e em seguida foram definidos os objetivos gerais e específicos a serem alcançados com aplicação do sistema. **Capítulo II** – No referencial analisou-se diversos trabalhos publicados na literatura com intuito de subsidiar o trabalho proposto. **Capítulo III** – realizou-se fundamentação teórica analisando trabalhos já publicados dos últimos 5 anos. Teve como objetivo, o estudo de trabalhos correlacionados que estudaram sobre o tema. **Capítulo IV** – abordou-se a metodologia utilizada para a elaboração do projeto, desde a pesquisa bibliográfica, onde se realizou comparações com trabalhos já publicados que tratam do mesmo tema, até o desenvolvimento do modelo proposto para testes. **Capítulo V** – apresenta os resultados da pesquisa, com testes já realizados com o equipamento desenvolvido. **Capítulo VI** – é apresentado uma conclusão acerca da proposta, onde estão descritos os resultados alcançados e sugestões para trabalhos futuros.

CAPÍTULO II

2. Referencial Teórico

Muito se discute sobre a ubiquidade que os sistemas computacionais vêm tomando, sua interconectividade e onipresença, Mark Weiser, publicou um artigo em 1991 na revista *Scientific American*, onde tratou de explicar o que seriam essas “coisas”, descrevendo da seguinte forma: São elementos especializados de *hardware* e *software*, conectados por fios, ondas de rádio ou infravermelho, em breve serão tão onipresentes que ninguém notará sua presença Weiser (2002), parecia apenas o sonho de um cientista, mas, era o início do nascimento da Internet das Coisas, (*Internet of Things – IoT*).

A Internet das Coisas vem a cada dia, se tornando mais popular no meio da Tecnologia da Informação e Comunicação (TIC). O conceito geral do que é internet das coisas ainda é muito discutido no meio acadêmico. O Instituto de Engenheiros Eletricistas e Eletrônicos – IEEE, descreve o termo “*Internet of Things*” como: uma rede complexa, adaptável e autoconfigurável, que interconecta "Coisas" à Internet através do uso de protocolos de comunicação padrão. Essas coisas interconectadas têm representação física ou virtual do mundo digital, capacidade de detecção/atuação, com recurso de programação sendo unicamente identificáveis e contendo informações, incluindo a identidade, status, localização ou informações comerciais, sociais ou privadas relevantes, Minerva *et al.* (2015, p. 73).

Essas “coisas”, esclarece o autor, oferecem serviços, com ou sem intervenção humana, através da exploração de identificação única, captura de dados e capacidade de atuação. Dessa forma o sistema é facilmente utilizado através do uso de interfaces inteligentes e é disponibilizado em qualquer lugar, a qualquer momento, e para qualquer coisa, Minerva, Biru e Rotondi, (2015). Dessa maneira, podemos inferir que a internet das coisas é genericamente compreendida como uma conexão de coisas em rede, ou seja, de objetos físicos, conectados à internet que fornecem dados. Com a expansão do *Iot*, surge uma nova visão de mercado, pois o mesmo, acarreta uma melhora no processo de automação, minimizando os erros e os custos operacionais.

Ao relacionarmos nessa pesquisa a área de monitoramento da qualidade da água ao sistema *Iot*, temática relativamente nova e incipiente no âmbito da pesquisa. O trabalho de Martins *et al.* (2017) considera a relevância na utilização de monitoramento automatizado dos recursos hídricos, em função do ganho de produtividade e menor custo, os autores

propõem um sistema de baixo custo, para estudo e aplicação dessa tecnologia em plantas de saneamento.

Como proposta, o trabalho de Almeida *et al.* (2017) corrobora sobremaneira com a presente proposta do estudo, visto que seu estudo desenvolve-se um equipamento móvel para monitoramento do meio ambiente, mostrando a relevância no desenvolvimento desses sistemas de baixo custo, dessa forma dando maior importância no monitoramento dos recursos hídricos para melhor controle ambiental.

Já o trabalho de Chen; Han (2018) demonstra a viabilidade na realização da coleta de dados da qualidade da água em tempo real, utilizando sensores eletrônicos. A pesquisa teve como piloto a aferição de vários parâmetros físico-químicos ao longo do rio Avon, que corta a cidade de Bristol na Inglaterra, integrado ao sistema gestão de águas urbanas obtém-se uma melhor eficiência na gestão dos recursos hídricos e os dados estão disponíveis para consulta *online*.

Para os autores já citados, a rede de sensores, aliado à internet possibilita um método mais eficaz na coleta de dados ambientais, principalmente no que se refere ao monitoramento da qualidade da água, ao longo dos rios e bacias hidrográficas que fornecem água para consumo. Nesse sentido, ressalta o trabalho de Pule *et al.* (2017), que a utilização de uma rede de sensores sem fio em detrimento das formas de coletas convencionais, vem ganhando espaço nos mais diferentes meios. O trabalho dos autores compara e avalia diferentes arquiteturas propostas por diversos autores em termos de parâmetros, monitoramento.

Em seu trabalho, Lambrou *et al.* (2014) ressalta o baixo custo e a confiabilidade de uma rede de sensores para monitoramento, em tempo real da qualidade da água. Bem como o trabalho de Almeida *et al.* (2018 e Das; Jain (2017) que desenvolveram, com uso de sensores, um sistema para monitoramento em tempo real da poluição dos recursos hídricos, que por conseguinte, só demonstra a preocupação dos pesquisadores em desenvolver plataformas de uso geral para essa finalidade.

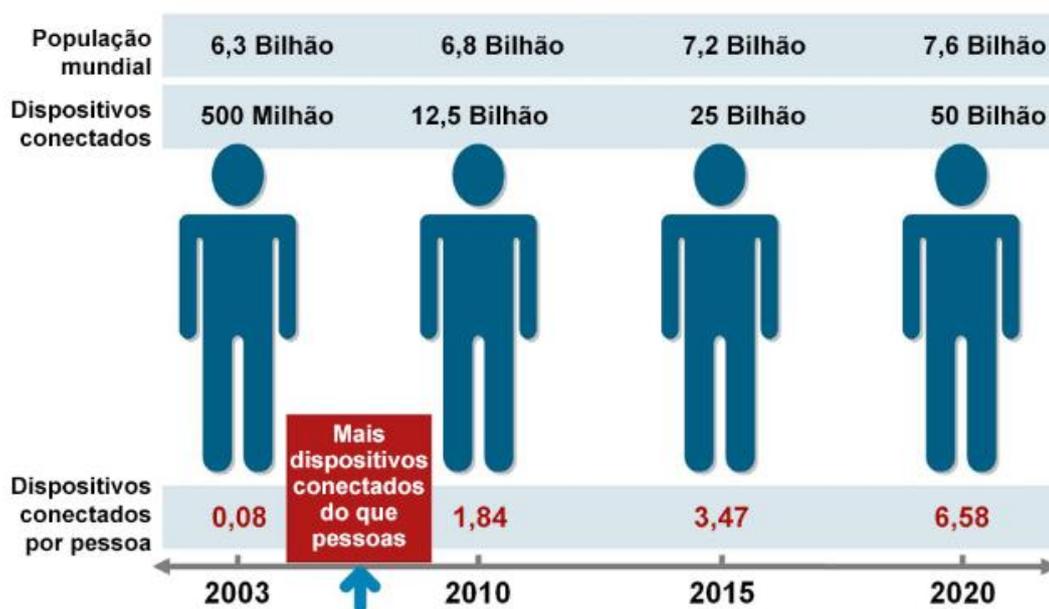
Em síntese, é possível notar semelhanças e diferenças nas reflexões dos autores que se debruçam sobre esse tema, o laço em comum apresentado é que eles tratam de monitoramento de qualidade da água de forma automática, através de sensores. Salienta Atzori *et al.* (2010), em seu trabalho que o avanço da internet das coisas deve resultar de atividades sinérgicas conduzidas em diferentes campos do conhecimento. Nessa acepção, várias são as pesquisas que se posicionam favoráveis ao desenvolvimento de novos produtos e técnicas utilizando sistemas de monitoramento em tempo real e de baixo custo, com Iot.

2.1 Crescimento e uso da Internet das Coisas

A internet das coisas tem por objetivo conectar os objetos de uso cotidiano à rede mundial de computadores, permitindo a comunicação entre usuários e objetos a longa distância. Diversas são as aplicações que se beneficiam ou poderão se beneficiar dessa tecnologia, exemplo disso é a agricultura que utiliza sensores de precisão, a pecuária com monitoramento dos animais em tempo real e as incontáveis aplicações na medicina.

Segundo Evans (2011) em um estudo publicado pela *Cisco Internet Business Solutions Group* (IBSG), estima-se que haverá cerca de 50 bilhões de dispositivos conectados até o ano de 2020. Com isso, calcula-se que a IoT, representa a próxima evolução da internet, dando um grande salto na capacidade de coletar, analisar e distribuir dados, que geram conhecimento e informação, importante caminho para análise preditiva.

Figura 1: Dispositivos conectados por pessoa



Fonte: Cisco IBSG, abril de 2011

Corroborando com o relatório da Cisco, temos no Brasil a 30ª Edição, 2019, da pesquisa anual do uso de Tecnologia da Informação (TI), realizada pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) mostra que, no Brasil, chegou-se à marca de 2 (dois) dispositivos digitais por habitante, sendo 56% desses com smartphone, e que, mesmo com a economia retraída, os investimentos no setor de TI nas empresas continuam a crescer. Meirelles (2019).

CAPÍTULO III

3. Metodologia

Neste capítulo será apresentado os materiais e métodos utilizados para o desenvolvimento do trabalho. Passaremos a discorrer sobre as características da pesquisa e os componentes utilizados (*hardware* e *software*) no desenvolvimento do modelo proposto, bem como os testes e a demonstração do seu funcionamento.

3.1 Características da Pesquisa

Para realização da pesquisa empregou-se, primeiramente como procedimento metodológico a revisão da literatura, para a identificação de produções acadêmicas sobre o tema, monitoramento da qualidade da água utilizando internet das coisas – IoT, objetivando assim uma maior compreensão em termos de pesquisas já desenvolvidas. Para Salvador (1981), o levantamento bibliográfico é o conjunto de indicações precisas e minuciosas que permitem a identificação de publicações já realizadas sobre o tema, através da sistematização e análise dos resultados. O planejamento da pesquisa foi realizado três etapas interligadas: o estudo documental e teórico, o desenvolvimento do protótipo, simulações e os testes.

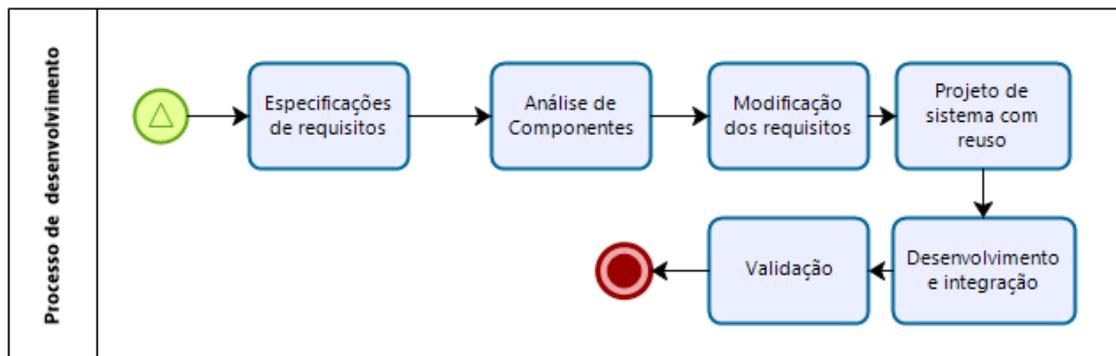
A abordagem baseia-se no desenvolvimento de um produto que integra, sensores de baixo custo, para monitoramento em tempo real da qualidade da água, com a internet, sendo inicialmente empregado na hidroponia. Nesse contexto, temos que, o projeto em questão é de natureza aplicada, onde, na maioria dos casos essas pesquisas partem de estudos teóricos, modelagem, em seguida o desenvolvimento de um protótipo e por fim os testes para coleta e análise dos resultados.

Isso posto, o projeto tem por objetivo, contribuir para fins práticos, visando à solução imediata do problema encontrado na realidade, como destaca Barros e Leheld, (2007, p. 93). Appolinário (2004, p. 150 *apud* Vilaça, 2010, p. 65), salienta que pesquisas aplicadas têm o objetivo resolver problemas ou necessidades concretas e imediatas, gerando assim conhecimento para aplicações dirigidas a solução de problemas.

Para garantir que o projeto sobrevenha adequadamente, estabeleceu-se as especificações metodológicas baseadas em componentes, maximizando assim a produtividade, de mesmo modo como é utilizada no desenvolvimento de software. Para Ramos (2017, p. 27), a modelagem baseada em componentes e faz com que o produto seja construído por partes, distribuídos em pequenos módulos, focando em apenas uma

funcionalidade ou um conjunto de funcionalidades semelhantes, objetivando assim, minimizar a complexidade envolvida no desenvolvimento.

Figura 2: Fases do modelo baseado em componentes



Fonte: Adaptado de (Ramos, 2017, p. 26)

Observa-se, por meio da (Figura 2), as etapas do modelo baseado em componentes, sugerida por Ramos (2017). Em conformidade com o autor, em princípio, iniciou-se a coleta de requisitos, buscando alinhar as necessidades do cliente/usuário de forma clara e objetiva para o alcance dos objetivos. Por conseguinte, passou-se a análise de componentes, que tem por objetivo verificar se o conjunto analisado para o desenvolvimento do modelo supre as necessidades apontadas na etapa anterior. A etapa de modificação de requisitos foi garantida para fins de adequação.

Na sequência, a modelagem do sistema foi realizada com base no reuso dos componentes selecionados, visto que esses são testados separadamente. Já na etapa de desenvolvimento e integração, os componentes foram interligados e novos componentes podem ser solicitados para compor a solução final. Desta forma, após a conclusão de todas as etapas, é validado o sistema com base nas especificações iniciais e testes realizados em ambiente de produção.

Em consequência disso, vê-se, a todo instante, a crescente demanda por soluções tecnológicas aplicada a problemas concretos. Vários autores como: Lambrou *et al.* (2014 e Gielen (2015 e Pule *et al.* (2017) argumentam que a crescente demanda pela utilização da internet das coisas se justifica pelo seu baixo consumo de energia e custo, com alto valor agregado. Dessa maneira, pesquisas relacionadas vem se tornando um atrativo para o desenvolvimento de sistemas integrados.

3.2 Pesquisa Bibliográfica

Para fundamentação e desenvolvimento do modelo proposto, foram analisados estudos já publicados em diversas bases de dados que se assemelham a temática escolhida. No entanto, devido às constantes inovações tecnológicas, foi realizado uma busca sistemática no período correspondente a 2013 a junho de 2019. Os termos de busca utilizados tiveram como objetivo encontrar trabalhos relacionados ao tema com maior relevância. A (Quadro 1), mostra as bases de dados escolhidas para a realização do trabalho e seu endereço eletrônico.

Quadro 1: Base de dados utilizada na realização das buscas.

BASE DE DADOS PESQUISADA	ENDEREÇO PESQUISADO
1. <i>ScienceDirect</i> - Elsevier	http://sciencedirect.com
2. Portal de Periódicos da CAPES - <i>Cafe</i>	http://www.periodicos.capes.gov.br/
3. <i>IEEE Explorer</i>	https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp
4. ACM - Digital Library	https://dl.acm.org/
5. Google Scholar	https://scholar.google.com.br

Fonte: Elaborado pelos autores.

3.2.1 Definição dos termos de busca

Foram levantados estudos que tiveram relação direta com o tema proposto, dessa forma, para realização das buscas nas bases de dados e refinamento da pesquisa, utilizamos as palavras-chaves definidas no idioma inglês, utilizando as seguintes termos combinados:

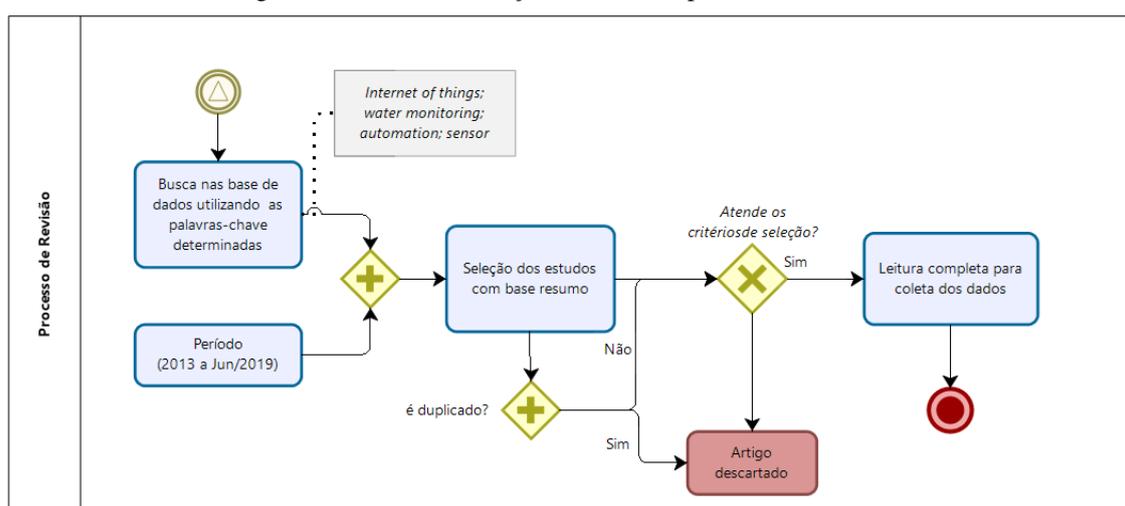
1. “*Internet of things*” AND “*water monitoring*”;
2. “*Internet of things*” AND “*automation*”;
3. “*Internet of things*” AND “*sensor*”;
4. “*Internet of things*” AND “*modeling*”;

Em posterior análise, para seleção dos artigos, foram selecionados apenas aqueles que tivessem relação com o tema proposto, uma vez que, sendo interesse da investigação, foram selecionados apenas estudos que mostram a correlação direta com objeto proposto.

3.2.2 Critérios de inclusão e exclusão

Os procedimentos metodológicos utilizados na busca e seleção dos artigos publicados foram, primeiramente a escolha dos periódicos a serem analisados, a língua e o período. Dessa forma, a língua escolhida foi inglesa, a busca foi entre: 2013 a junho de 2019. Ao realizar o mesmo procedimento nas bases de dados observou-se através de uma leitura dos resumos que há repetidos republicação dos mesmos trabalhos em diferentes revistas, esses não foram incluídos, a (Figura 3), mostra o processo de seleção e avaliação dos estudos contemplados nesta pesquisa.

Figura 3: Processo de seleção dos estudos para revisão da literatura.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para o critério de exclusão do estudo bibliográfico, levou-se em consideração apenas trabalhos que tratam, integral ou relativo ao tema, que é a utilização de sistemas de monitoramento da qualidade da água, utilizando o conceito de internet das coisas. Após a busca pelos trabalhos nas bases de dados mencionadas, foram selecionados os trabalhos com maior relevância, seguindo as etapas propostas na (Figura 3).

Ademais, com intento de selecionar os mais relevantes, primeiramente realizamos uma leitura breve para identificação do trabalho, tendo assim uma ideia geral do tema trabalhado no artigo. Além disso, com a leitura dos resumos, selecionamos os potenciais trabalhos a serem posteriormente analisados com maior critério, excluindo os que não atendiam aos critérios pré-estabelecidos.

Atendidos os critérios, passamos a leitura dos objetivos, com propósito de verificar a proposta do trabalho apresentado, uma vez que nele se resume sua ideia central. Por conseguinte, foi realizado a leitura dos resultados da pesquisa, em razão disso, foi

selecionado 08 artigos, que tiveram como objetivo, relacioná-los de modo que, foi delineado o referido estudo. Como resultado, foi elaborado um quadro com os artigos selecionados, (Quadro 1) como facilitador para análise. Os artigos previamente selecionados e analisados encontram-se em ordem decrescente de data de publicação, com isso podemos identificar a tecnologia mais recente utilizada no desenvolvimento do sistema proposto pelas pesquisas.

Além disso, foram selecionados apenas os trabalhos que utilizaram sistemas embarcados com a finalidade de monitorar a qualidade no meio aquático e que possuísem em seu bojo a utilização de sensores de baixo custo. Encontramos diversas aplicações com diferentes plataformas, desde a utilização com o microcontrolador Arduino UNO até o mais sofisticado minicomputador, de baixo custo, *Raspberry Pi*².

No entanto, vale destacar que não foram encontrados sistema integrado com uso do microcontrolador WEMOS Lolin32, usado no modelo proposto. Os artigos encontrados e os métodos de coleta e armazenamento de dados juntamente com os sensores utilizados, trouxe-nos uma visão geral dos trabalhos a respeito do tema. Na (Figura 3), foi demonstrado por meio de infográfico o caminho percorrido e a seleção dos estudos contemplados para pesquisa.

Quadro 2: Processo de análise e seleção dos estudos por base de dados

BASE DE DADOS PESQUISADA	ENCONTRADOS	PRÉ-SELECIONADOS	SELECIONADOS PARA ESTUDO
1. <i>ScienceDirect</i> - Elsevier	15	3	3
2. Portal de Periodicos da CAPES - <i>Cafe</i>	14	1	1
3. <i>IEEE Explorer</i>	703	8	8
4. ACM - Digital Library	9	1	1
5. Google Scholar	403	8	1

Fonte: Elaborado pelos autores.

Após a leitura dos artigos já previamente selecionados, dos 14 trabalhos, apenas 8 tiveram relação direta como o tema proposto. É importante frisar que a base de dados do *Google Scholar* indexa outras bases de dados, obtendo assim estudos repetidos. Com intuito

²*Raspberry Pi* é uma série de computadores de placa única do tamanho reduzido,

de automatizar o processo de descarte de artigos repetidos, utilizamos o programa Zotero, que é um gerenciador de referências bibliográficas, onde podemos importar as buscas nas bases de dados no formato *bibtex* das bases de selecionadas, com isso automatizamos o processo de exclusão de artigos duplicados, através do botão “detecção duplicada”.

Dessa forma, diminuimos significativamente o trabalho de análise de artigos duplicados. Todos os artigos que trouxeram o contexto de internet das coisas, com vistas ao monitoramento da qualidade da água foram incluídos em nossa pesquisa, abaixo uma síntese dos critérios de inclusão e exclusão dos artigos analisados para revisão.

Dessa maneira, ao se utilizar sensores acoplados a um microcontrolador programável, temos um sistema aberto de baixo custo e escalável, uma vez que, esse sistema tem a capacidade para inclusão de novos sensores ou até mesmo atuadores em suas portas. Dessa forma, caso seja necessário incluir um novo sensor, por exemplo, o de Oxigênio Dissolvido e Turbidez, básicos para monitoramento da piscicultura, por exemplo, basta apenas programar o sistema para inclui-lo, não necessitando de gasto extra com um novo microcontrolador.

Dado exposto e analisando de forma sintética os artigos selecionados que constam no (Quadro 3) verifica-se uma inclinação por parte dos pesquisadores em desenvolver protótipos para uso em pesquisa. Do mesmo modo, o monitoramento da qualidade da água é vital para garantir o fornecimento dos nutrientes essenciais para o seu crescimento. A maioria dos trabalhos sugerem a viabilidade de uso do Iot para monitoramento da água, a exemplo o trabalho de Almeida *et al.* (2017 e Das; Jain (2017 e Manju *et al.* (2017 e Moparthi *et al.* (2018 e Salunke; Kate (2017 e Vijayakumar; Ramya (2015) em que os autores trabalham com proposta, consequentemente não houve aplicação em ambiente real de produção, apenas proposta ou testes de bancada.

Diferentemente dos trabalhos de Chen; Han (2018 e Yauri *et al.* (2017) onde foram realizados testes *in loco*, monitorando a qualidade da água, os dois em Rios situados em sua região da pesquisa, o primeiro para verificar a qualidade da água para consumo e o segundo para pesquisa ligado diretamente à piscicultura.

Quadro 3: Trabalhos selecionados para revisão.

AUTOR	TÍTULO DO TRABALHO	Móvel	Armazenamento			Sensores					
			Interno	Nuvem	CSV	pH	CE(1)	Temp. água	Temp. Ambiente	Oxigênio Dissolvido	Humidade do Ar
MOPARTHI, N. R.; MUKESH, CH.; VIDYA SAGAR, P; 2018	Water Quality Monitoring System Using IOT										
ALMEIDA, 2018	Projeto e desenvolvimento de laboratório móvel para monitoramento ambiental dos níveis de temperatura e humidade baseado em internet das coisas (iot)										
CHEN, Y; HAN, D, 2018	Water quality monitoring in smart city: A pilot project										
SALUNKE, P; KATE, J, 2017	Advanced smart sensor interface in internet of things for water quality monitoring										
DAN e JAN, 2017	Real-time water quality monitoring system using Internet of Things										
MANJU, M.; KARTHIK, V.; HARIHARAN, S.; SREEKAR, B; 2017	Real time monitoring of the environmental parameters of an aquaponic system based on Internet of Things										
YAURI, R.; RIOS, M.; LEZAMA, J; 2017	Water quality monitoring of Peruvian Amazon based in the Internet of Things										
VIJAYAKUMAR, N. RAMYA, R 2015	The real time monitoring of water quality in IoT environment										
LEAL JR e ARAUJO; 2019	MODELAGEM DE UM SISTEMA MULTIPARÂMETRO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA UTILIZANDO INTERNET DAS COISAS										

Fonte: Elaborado pelos autores.

CAPÍTULO IV

4. Especificações do sistema multiparâmetro

A Internet das Coisas é uma escolha natural quando se trata de automação. Observa-se na maioria dos trabalhos, com uso da IoT, a preocupação com a escolha do *hardware* e seus custos, este trabalho não foi diferente, dado que um dos objetivos específicos foi realizar a comparação dos custos no desenvolvimento do modelo proposto e confrontá-lo com sistemas semelhantes, de uso comercial já reconhecidos no mercado. Posto isto, abaixo a descrição dos componentes eletrônicos utilizados na constituição do modelo proposto, com suas especificações técnicas, extraídas do manual do fabricante.

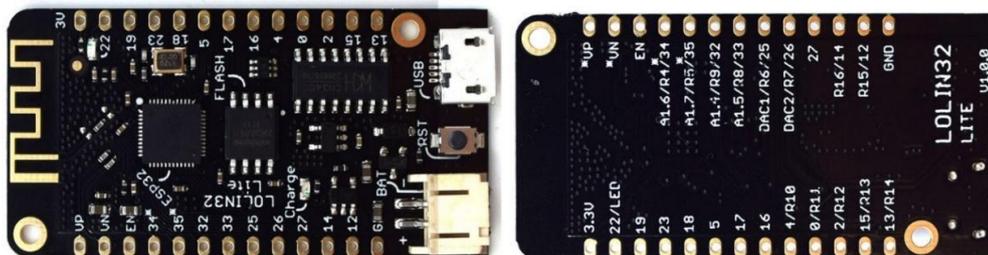
4.1 Caracterização dos componentes utilizados

Com a popularização dos sistemas embarcados, aliados, na maioria das vezes, ao seu baixo custo, não houve dificuldades na escolha do microcontrolador a ser utilizado, uma vez que, pelas necessidades operacionais, optou-se por utilizar o *hardware* de baixo custo que suprissem a demanda especificada. Em resumo, neste capítulo, será descrito em apertada síntese uma breve apresentação de cada item utilizado no desenvolvimento no modelo proposto.

4.1.1 Microcontrolador WEMOS LOLIN *Lite*

O Microcontrolador escolhido foi o *LOLIN Lite* (Figura 9), baseado no ESP32. Integra em seu sistema os módulos IEEE 802-11 (Wi-Fi) b/g/n e Bluetooth LE (*low-energy*).

Figura 4: Wemos Lolin32 Lite



Fonte: <<https://wiki.wemos.cc/>>.

Como mostrado na (Quadro 4), a placa conta com pino GND (*Graduated Neutral Density*), conhecido também como “terra” no Brasil, vem com um pino para alimentação de 3.3V, 21 pinos de entradas e saídas, botão *reset*, LED de *status*, conector JST (*Japan Solderless Terminal*), desenvolvido para uso em protótipos, onde não é necessário realização de soldas, conta também com uma porta *micro-USB* para programação e carregamento da bateria LiPo (*Lithium polymer battery*).

Quadro 4: Dados técnicos do microcontrolador utilizado.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Microcontrolador	ESP-32
Tensão operacional	3.3V
Pinos de E / S digitais	19
Pinos de entrada analógica	6
Velocidade do relógio (máx.)	240Mhz
Armazenamento Flash	4M bytes
Largura	2.54mm

Fonte 9: Adaptado do <http://wemos.cc>

4.1.2 Sensor Eletrônico de pH

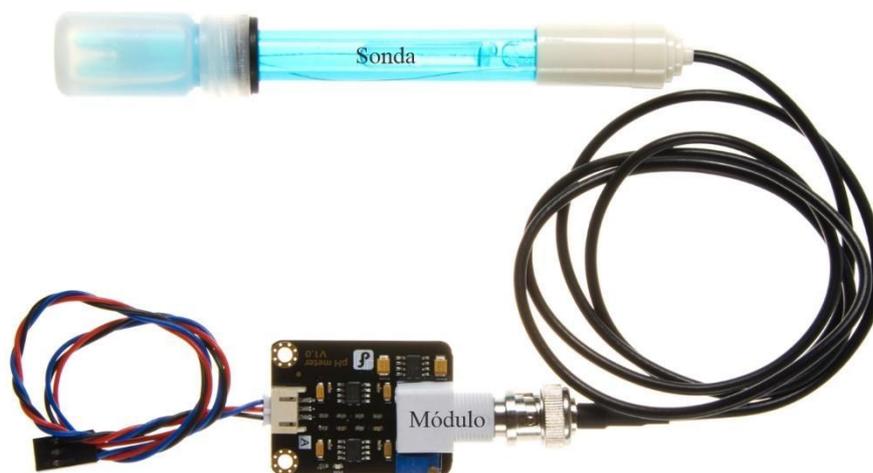
Para a aferição da qualidade da água, utilizamos sensor de pH (Potencial Hidrogeniônico) analógico modelo E-201 da *dfrobot*, especificamente projetado para diversos microcontroladores.

Quadro 5: Especificações técnicas do módulo pH e Sonda

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Módulo	pH
Tensão operacional	5.0V
Dimensões do módulo	43 x 32mm
Temperatura para medição	0-60 °C
Precisão	± 0,1 pH (25°)
LED Indicador de energia	1
Comprimento do cabo do sensor ao conector BNC	660mm

Fonte: Adaptado do fabricante (wiki.dfrobot.com)

Figura 5: Módulo e sonda para aferição do pH



Fonte: Adaptado do fabricante (wiki.dfrobot.com).

Considerando a influência do pH na absorção dos nutrientes pelas plantas, o controle do pH se faz seriamente necessário, visto que, a planta, está sob tratamento em solução aquática com raízes submersas na água, no sistema de hidroponia. Quando o pH é muito alto ou muito baixo, as raízes não conseguem aproveitar os nutrientes nas proporções adequadas. Por essa razão, a análise da acidez da água faz-se realmente necessário. Esse sensor, como mostrado na (Figura 5), utiliza um conector BNC (*Bayonet Neill Concelman*) facilitando assim sua troca e armazenamento, acompanha o modulo para integração com o microcontroladores.

Quadro 6: Relação entre a saída do eletrodo e seu pH relacionado.

TENSÃO (mV)	pH	TENSÃO (mV)	pH
414,12	0	-414,12	14
354,96	1	-354,96	13
295,8	2	-295,8	12
236,64	3	-236,64	11
177,48	4	-177,48	10
118,32	5	-118,32	9
59,16	6	-59,16	8
0	7	0	7

Fonte: Adaptado do fabricante (wiki.dfrobot.com)

Com o módulo eletrônico, o pH foi mensurado de acordo com os valores captados pela sonda em valores de saída, dessa forma temos a relação entre a voltagem em *milivolts* (mV) e o valor do pH foi apresentado conforme tabela do fabricante mostrado no (Quadro 6).

4.1.3 Módulo sensor de temperatura ambiente

Para monitoramento do ambiente externo, utilizamos o sensor de umidade e temperatura, módulo DHT11, como é mostrado na (Figura 6). É um sensor de baixo custo, de baixo consumo de energia e de boa precisão segundo o fabricante.

Figura 6: Sensor de temperatura e umidade DHT11.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Esse módulo-sensor, pode medir temperatura ambiente entre 0 a 50° graus *celsius*, (para temperaturas fora dessas especificações, recomenda-se utilizar o modulo DHT22, que segundo o fabricante vai de -40 +125° graus *celsius*) e a umidade entre 20 a 90%, contando com precisão que varia de $\pm 5,0\%$ com tempo de resposta de 2s, as especificações técnicas encontram-se no (Quadro 7).

Quadro 7: Especificações técnica do DHT11 (Sensor de temperatura e umidade)

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Módulo	DHT11
Tensão operacional	3.3v / 5.0v
Corrente máxima	2,5 mA
Umidade	20 ~ 90% ($\pm 5\%$)
Temperatura	0 ~ 50 °C ($\pm 2\%$)

Fonte: Adaptado datasheet (*Sunrom Technologies*)

4.1.4 Sensor de condutividade elétrica

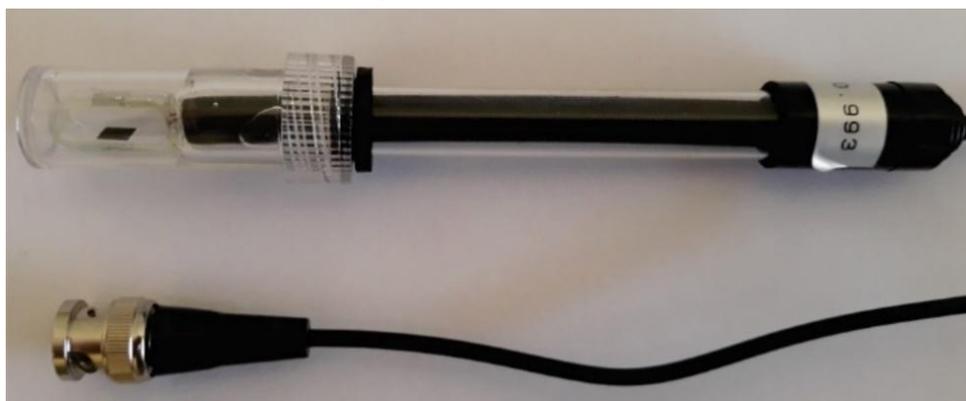
Para aferição da condutividade elétrica (CE), utilizamos o sensor *Gravity* da *DFRobot*. Segundo o fabricante é usado para medir a condutividade elétrica da solução aquosa e, em seguida, para avaliar a qualidade da água, que é frequentemente usada em aquacultura. A especificação técnica da pinagem do módulo com a sonda encontra-se na (Figura 7).

Figura 7: Módulo de Condutividade Elétrica (EC). Adaptado DFRobot Gravity



Fonte: Adaptado do fabricante (wiki.dfrobot.com).

Figura 8: Condutímetro



Fonte: Elaborada pelos autores.

Condutividade é o inverso da resistência, que está relacionada com a capacidade de o material para transportar a corrente, diz Ramalho (2009) em seu estudo sobre sensor de condutividade com condicionamento de sinal, em que no líquido, o recíproco da resistência é a condutividade, é a medida da sua capacidade para conduzir eletricidade. Condutividade é um parâmetro importante da qualidade da água. Ele pode refletir a extensão de eletrólitos presentes na água.

Quadro 8: Especificações técnicas adaptado do fabricante.

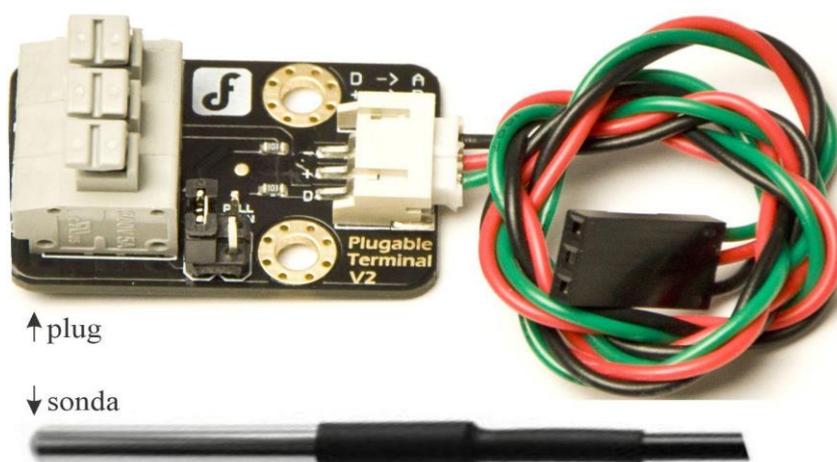
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS - CIRCUITO	
Placa de Conversão de sinal (Transmissor)	V2
Tensão de alimentação	3.0v ~ 5.0v
Tensão de Saída	0 ~ 3.4V
Sonda Conector	BNC
Precisão da medição	5% F.S
ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS - SONDA	
Tipo de sonda: Grau de Laboratório	V2
Apoio faixa de detecção	0 ~ 20 ms/cm
Recomendado Faixa de detecção	1 ~15 ms/cm
Faixa de temperatura	0 ~ 40 °C
Vida útil da sonda	6 meses

Fonte: Adaptado do fabricante (https://wiki.dfrobot.com/PH_meter_SKU__SEN0161)

4.1.5 Sensor de Temperatura

Juntamente ao módulo e a sonda, vem com o *Gravity Waterproof DS18B20*³, esse kit, sensor de temperatura é à prova d'água e utiliza uma sonda tipo tubo de aço inoxidável de 6mm de diâmetro por 35mm de comprimento, com o cabo de 90cm, acompanha um módulo resistivo para facilitar a conexão com o microcontrolador utilizado.

Figura 9: Módulo e sonda para aferição de temperatura da água



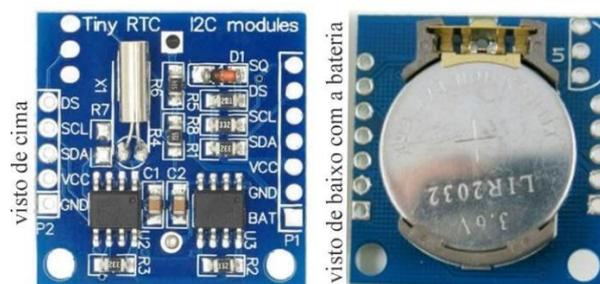
Fonte: Adaptada do fabricante (wiki.dfrobot.com)

³ https://wiki.dfrobot.com/Terminal_sensor_adapter_V2_SKU_DFR0055

4.1.6 Módulo RTC (Real Time Clock)

Módulo *Real Time Clock* (RTC) Ds1307, (Figura 9), com bateria, utilizado para armazenar os dados em tempo real, assim que for ligado os sensores, computando a data completa para armazenamento.

Figura 10: Módulo Tiny RTC I2C

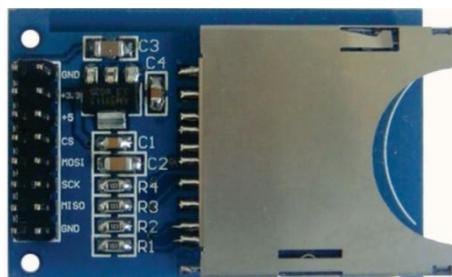


Fonte: Elaborado pelos autores.

4.1.7 Módulo SD Card

Módulo para cartão de memória, *SD Card*. Esse módulo, mostrado na (Figura 10), permite leitura e escrita em um cartão SD, suporte gravação em cartões SD em formato de arquivos FAT16 e FAT32.

Figura 11: Módulo para cartão de memória



Fonte: Elaborado pelos autores.

Quadro 9: Especificações técnicas do micro *SD Card*.

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Modelo	<i>SD Card</i> .
Tensão VCC	3.3v ou 5V
Interface Padrão	SPI
Faixa de temperatura	0 ~ 40 °C
Armazenamento do Micro <i>Sd Card</i> .	<= 2G
Armazenamento do <i>SDHC Card</i> .	<= 32G

Fonte 21: Elaborado pelos autores.

É importante ressaltar que, de acordo com as especificações técnicas mostradas no (Quadro 9), o micro SD *card* utilizado tem a capacidade de armazenamento de 2Gb, para armazenamento dos dados coletados pelos sensores.

4.1.8 Sistema de alimentação do circuito

Para o modelo de utilização portátil dos sensores, utilizou-se uma bateria de 5000mah, visto que, a utilização do modelo proposto será em campo, de fácil carregamento, podendo ser carregado em qualquer porta USB (*Universal Serial Bus*) de um computador desktop/notebook ou diretamente de uma tomada com um *plug* conversor.

Figura 12: Bateria *pineng* 5000mAh PN-905



Fonte: Elaborada pelos autores.

4.1.9 Caixa hermética

A utilização de uma caixa hermética foi necessária pois o sistema ficará em ambiente externo, passível de receber umidade e temperaturas elevadas, podendo assim danificar os circuitos, caso haja respingos d'água ou forte incidência de sol sobre eles. O modelo, como proposta, serve com invólucro, para proteger os circuitos internos, com fito diminuir a possibilidade de danos ao circuito, ocasionando avarias e oxidação.

Figura 13: Caixa hermética 14x5x10 cm



Fonte: Elaborado pelos autores

4.1.10 LED Externo

O LED (*Light-Emitting Diode*) vermelho acesso indica que o sistema está ligado e todos os sensores internos estão prontos para sua utilização, mensuração. O LED verde intermitente indica que não está conectando à roteador previamente configurado, ao se estabilizar o sinal, é indicativo que, o sistema está conectado à internet e pronto para envio dos dados, de forma automática, para plataforma *thingspeak*.

4.2 Montagem da plataforma

Com a finalidade de, mostrar o caminho percorrido para a montagem do sistema integrado, das Figuras (14 a 16) são apresentados a montagem do equipamento, na (Figura 14), temos o início da montagem, com a separação das peças a serem montadas na caixa hermética, dando-nos assim uma visão geral do início do desenvolvimento do sistema aplicado.

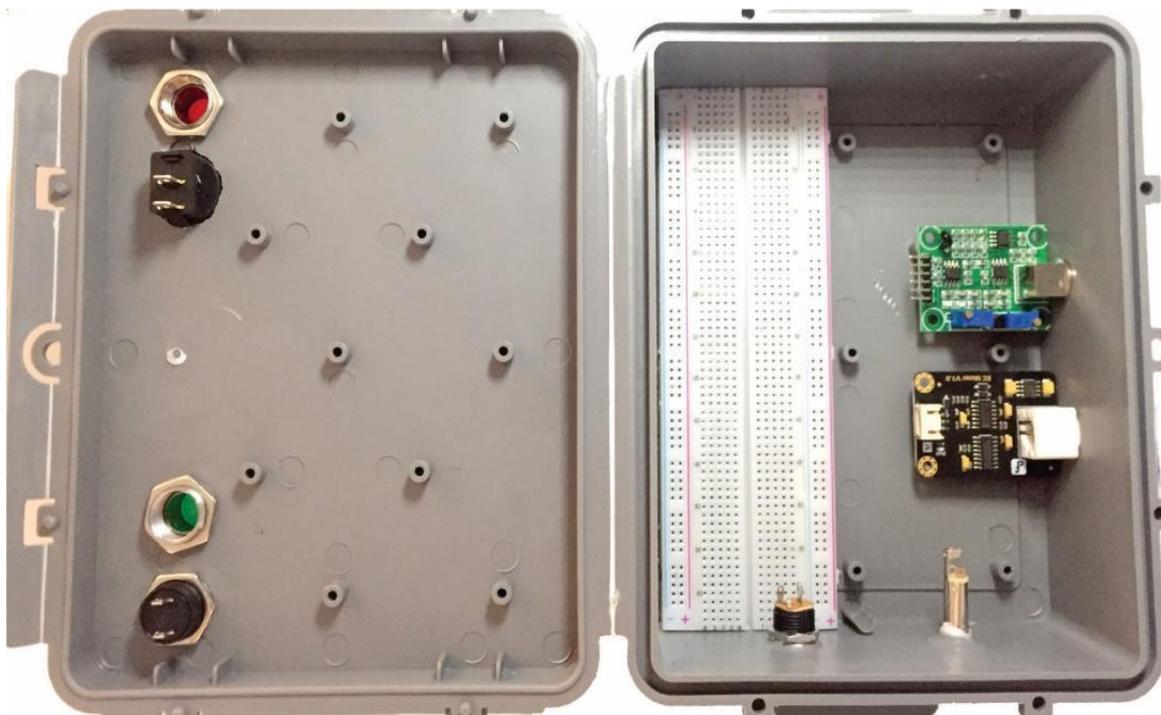
Figura 14: Início da montagem, visão geral



Fonte: Arquivo pessoal

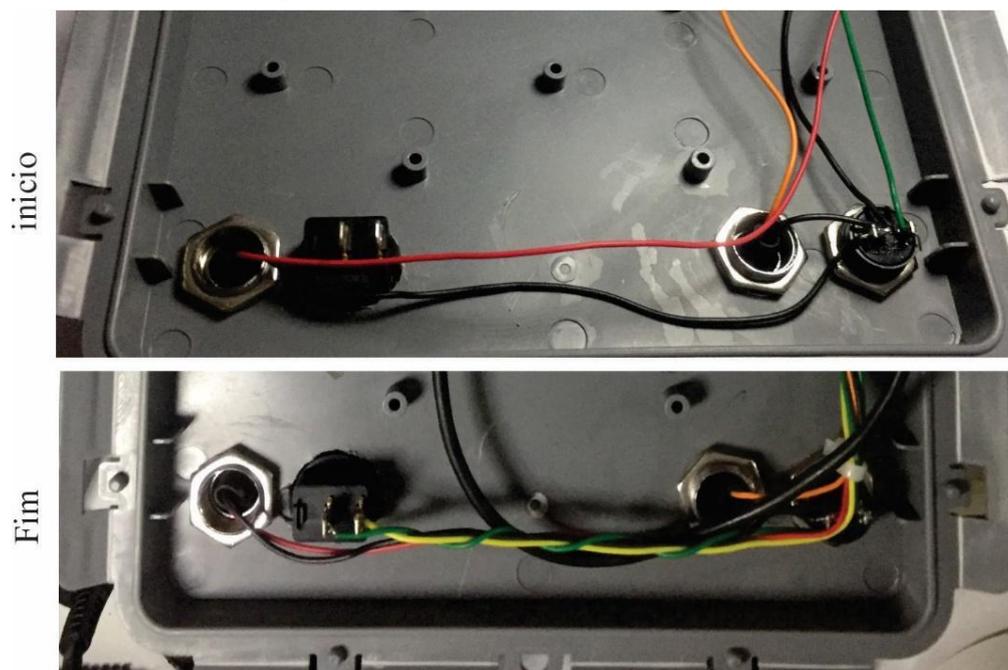
Na (Figura 15) é mostrado o início da montagem dos sensores na caixa hermética, com um espaço limitado, realizou-se as medidas em bancada antes da compra da caixa.

Figura 15: Corte na caixa e encaixe das peças



Fonte 25: Arquivo pessoal

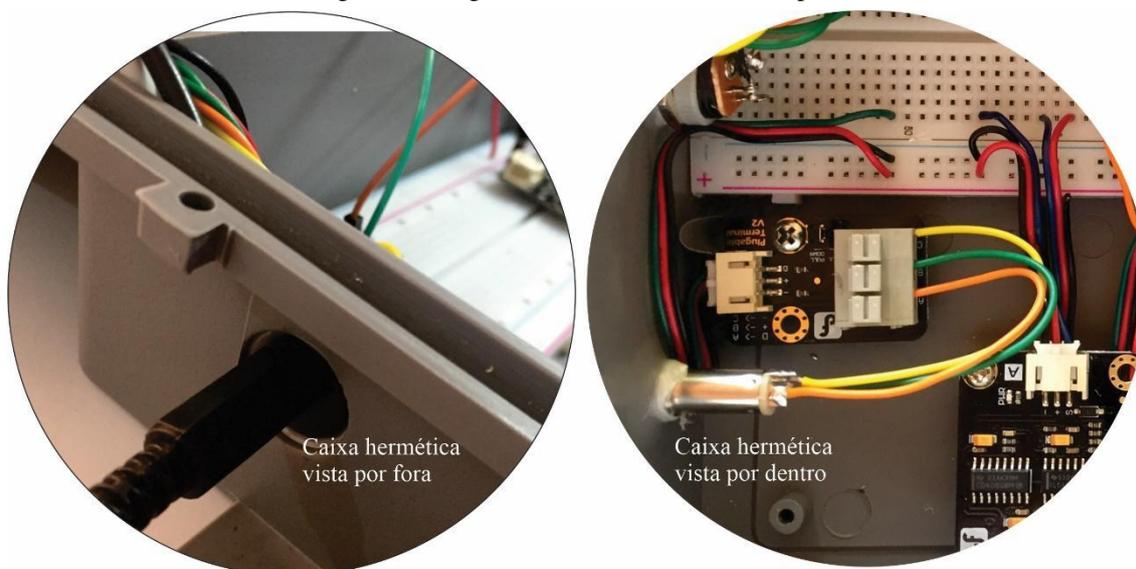
Figura 16: : Ligação elétrica dos LED'S e Botões



Fonte: Arquivo pessoal

Para fixação dos botões e *LEDs*, (Figura 16) foi necessário realizar a soldagem dos fios para melhor fixação.

Figura 17: Plug de conexão do sensor de temperatura



Fonte: Arquivo pessoal

O conector mostrado na (Figura 17), sensor de temperatura, não vem com um sistema de conexão rápida, do tipo BNC, a ligação desse sensor é direto na placa.

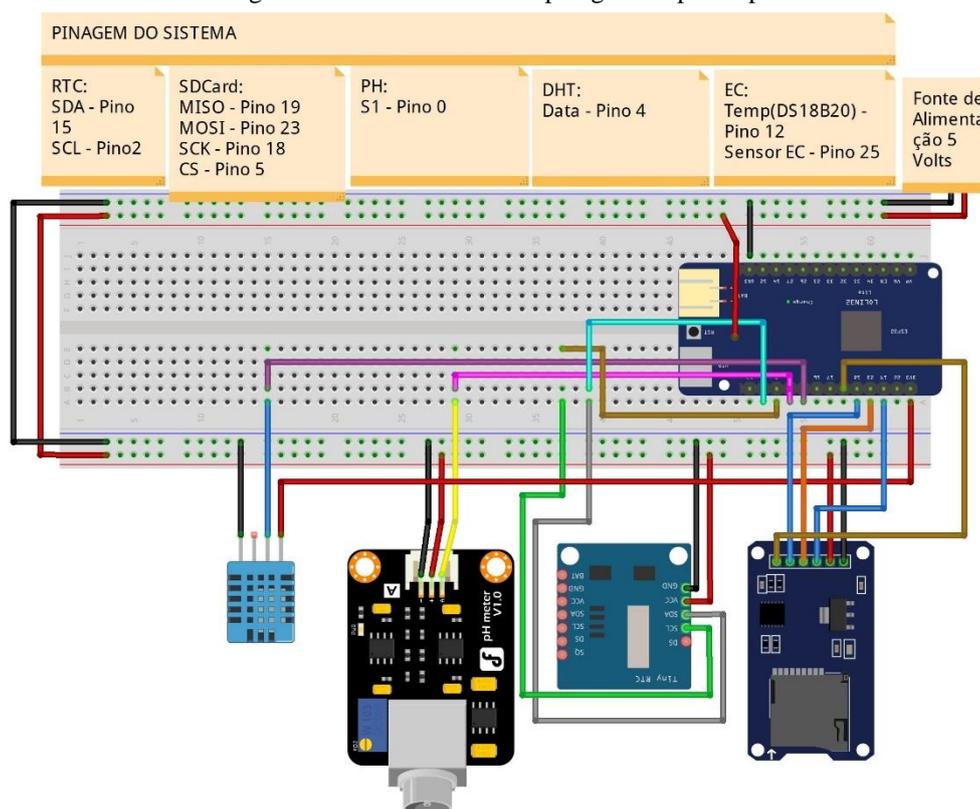
Para que esse conector não estivesse permanentemente acoplado ao sistema, adaptou-se um *plug* de encaixe rápido. Para isso utilizou-se um plug P2 de áudio de 3 vias, posto que, o sensor de temperatura vem com 3 fios, como mostrados nas especificações do (Quadro 10).

Quadro 10: Especificações técnicas sensor de temperatura

ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS	
Modelo	DS18B20
Tensão VCC	3.3v ou 5V
Faixa de temperatura	de -55 ~ 125 °C
Precisão:	$\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ -10°C e +85°C
Ponta	Aço inoxidável
Cabo	100cm
PINAGEM	
VCC	Marrom
GND	Vermelho
SINAL	Laranja

Fonte: Adaptado do site (alldatasheet.com)

Figura 18: Circuito elétrico e pinagem do protótipo



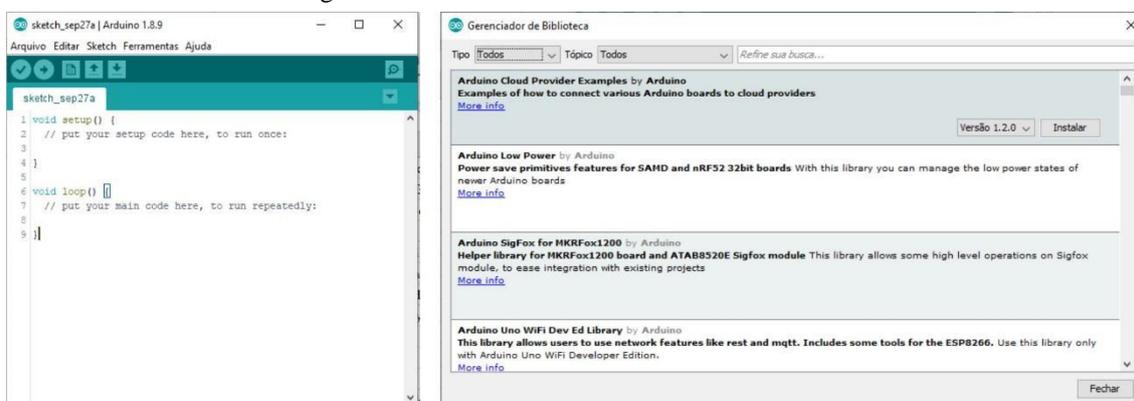
Fonte 1: Elaborado pelos autores

4.3 Programas utilizados (*Software*)

Escolhemos como plataforma *Thingspeak*TM que, segundo seus desenvolvedores é um serviço de plataforma de analítica da IoT que permite agregar, visualizar e analisar fluxos de dados ao vivo na nuvem. Dessa forma os dados coletados pelos sensores poderão ser visualizados após o envio pelos dispositivos no *ThingSpeak*. Para tanto é importante ressaltar que o sistema utiliza códigos do MATLAB®, realizando assim o processamento *on-line* dos dados conforme eles são recebidos. O *ThingSpeak* é frequentemente usado para prototipagem e sistemas IoT onde há necessidade de verificação de conceito que exigem análise. ThingSpeak (2019).

A programação dos sensores se deu através da IDE (*Integrated Development Environment*), onde, através de sua linguagem de programação e inúmeras bibliotecas próprias, disponibilizadas pelos fabricantes (Quadro 11), conseguimos dispor do projeto com maior facilidade e uma melhor escalabilidade da proposta apresentada, visto que, as bibliotecas e funções são facilmente obtida através da IDE do Arduino (Figura 18).

Figura 19: IDE do Arduino - Gerenciador de bibliotecas



Fonte: Elaborada pelos autores

Quadro 11: Bibliotecas utilizadas na programação

API E BIBLIOTECAS UTILIZADAS	URL
CE e Temperatura	https://wiki.dfrobot.com/Analog_EC_Meter_SKU_DFR0300
pH	https://wiki.dfrobot.com/Analog_pH_Meter_Pro_SKU_SEN0169
Temperatura e Umidade	Retirada da biblioteca do Arduino
RTC	Retirada da biblioteca do Arduino
SD card	Retirada da biblioteca do Arduino

Fonte: Elaborada pelos autores

4.4 Testes de bancada

Tendo como primacial objetivo a redução de custos, o projeto desenvolvido encontra-se dentro do esperado, uma vez que, o sistema já está enviando os dados para um servidor *web* através de uma conexão 4G, podendo também ser utilizada WiFi. Dessa forma, encontra-se, até o momento dentro do cronograma previsto. Para os testes finais com o modelo proposto.

Os testes demonstrados na (Figura 19) com abruptas variações na temperatura e umidade, justificam-se, pois, as aferições foram realizadas em bancada, onde, utilizamos fogo, emitido por um isqueiro a gás, simulando o aumento da temperatura e um umidificador, simulando aumento de umidade. Dessa forma, podemos verificar o funcionamento dos sensores e o envio dos dados para a nuvem. Por essa razão, os gráficos de temperatura e umidade estão com altas variações. Sabemos que a temperatura não varia com tamanha rapidez, com algumas exceções, entretanto, para os testes de bancada tornou-se eficaz para dirimir dúvidas a respeito do funcionamento do DHT11, tempo de resposta e atualização para nuvem.

Figura 20: Dados do sensor de temperatura e umidade

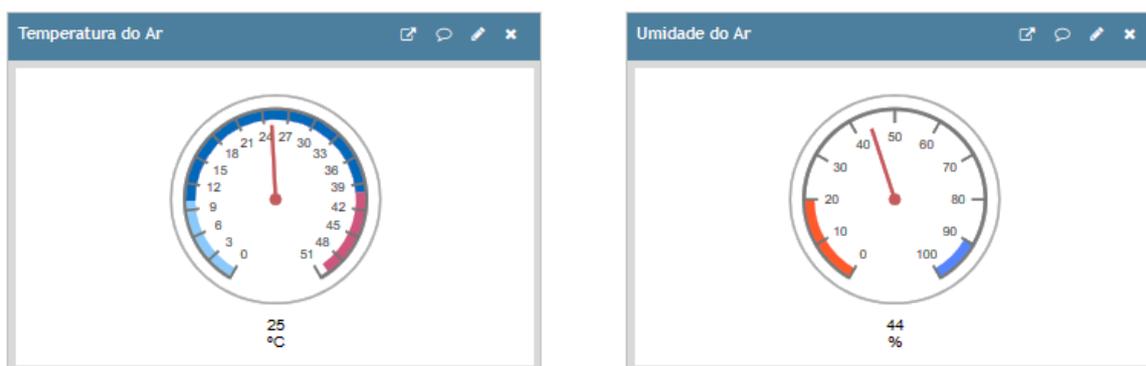


Fonte: Elaborado pelos autores.

Na (Figura 19) é mostrado os dados do sensor de temperatura e umidade – DHT11. A fim de que, os dados coletados dos sensores, sejam visualizados pelo aplicativo, primeiramente, faz-se necessário o armazenados na plataforma *ThingSpeak*TM para que posteriormente sejam apresentados pela aplicativo *ThingView*, através do celular com a plataforma Android 8, os dados também podem ser visualizados através do site <https://thingspeak.com>.

Na (Figura 19 [1]) são mostrados os sensores ativos e as aferições feitas, o sistema está configurado para atualizar a cada 15 segundos, podendo ser alterado conforme a necessidade. Na (Figura 19 [2]) temos a variação da umidade do ar e na (Figura 19 [3]) temos a temperatura ambiente com suas respectivas variações no tempo. Vale aqui ressaltar que, utilizamos para o teste de bancada, a alternância entre quente e frio, simulando assim altas e quedas de temperatura. Dessa forma simulamos um ambiente de transição nos testes. Ressalta-se também que, o sistema, ambos, tanto na plataforma *online*, quanto no dispositivo móvel, permitem análise automática por hora, dia, mês, ano e entre datas, facilitando assim análise temporal dos dados coletados.

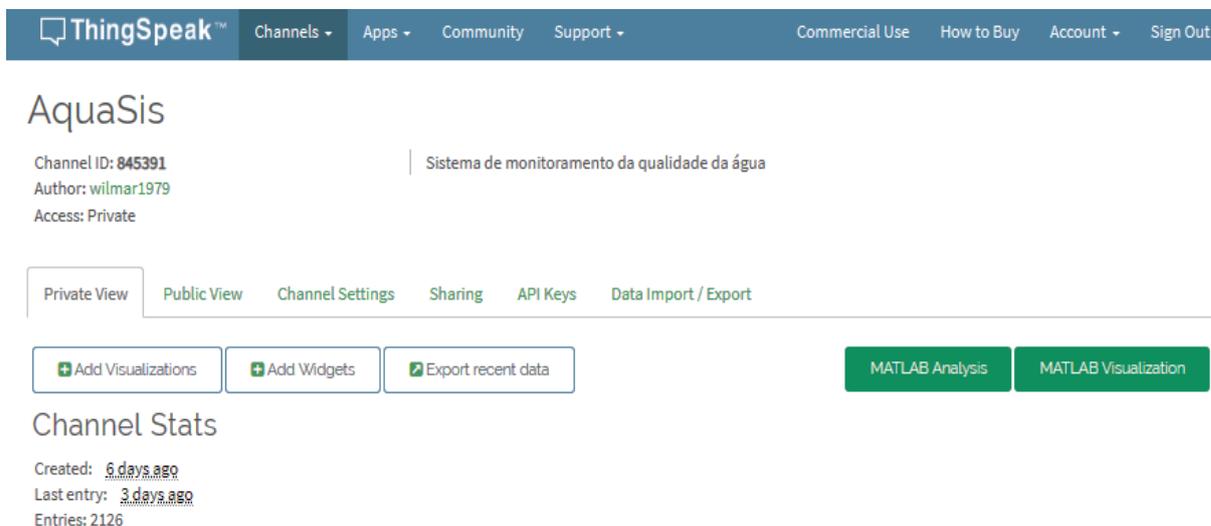
Figura 21: Visualização dos dados



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na (Figura 20), podemos gerar os dados coletados pelos sensores através do *dashboard* fornecido pelo *ThingSpeak*. Com a integração com a plataforma MATLAB, podemos realizar análises dos dados com maior facilidade.

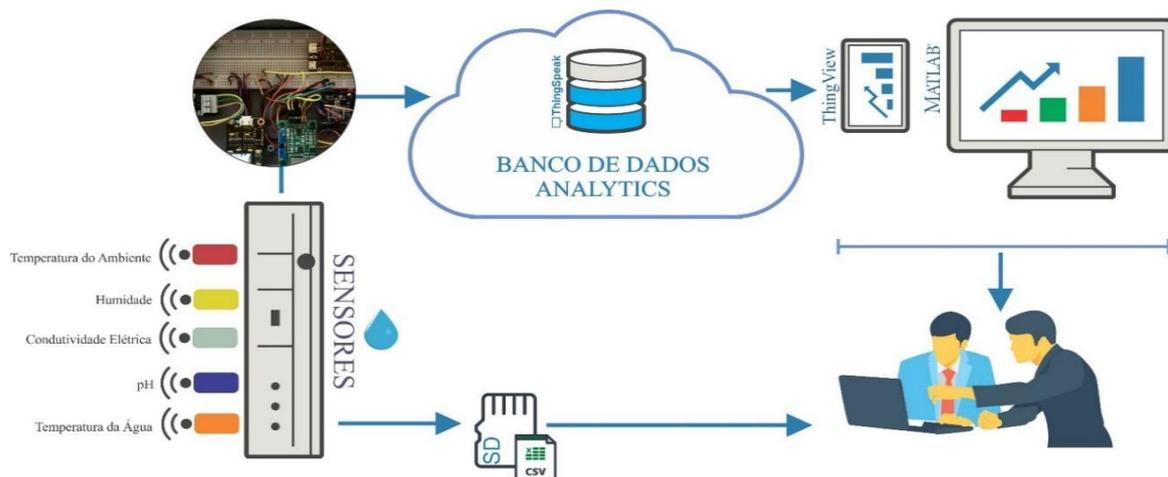
Figura 22: Painel de configuração do ThingSpeak



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na (Figura 21) é apresentado o painel de configuração do sistema, onde, no botão (*MATLAB Visualization*) podemos encontrar alguns exemplos prontos, (*templates*), para suporte a análise dos dados coletados, dentre os modelos, temos: histograma, correlação, gráfico de sequência discreta, gráfico de área preenchida, dentre vários outros modelos pré-configurados. Nesse modelo, podemos também ter disponibilizados através de um *link* público, dando total suporte ao pesquisador para análise dos dados coletados com facilidade e precisão.

4.5 Visão geral do funcionamento do sistema



Fonte: Elaborado pelos autores.

Apresentamos na (Figura 22) o comportamento do sistema, desse modo, podemos observar duas formas de coleta, armazenamento e visualização dos dados. Tendo em vista a demanda por monitoramento remoto, o sistema utilizará através de uma conexão com a internet o armazenamento dos dados coletados em um sistema *online*, o chamado broker MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) que é um protocolo de mensagens destinado a sensores e pequenos dispositivos móveis, por conseguinte os dados coletados ficarão armazenados em um banco de dados *online*, podendo ser acessado a qualquer tempo, de qualquer local, necessitando apenas de uma conexão com a internet.

Pensando na possibilidade de locais sem conexão com a internet, o sistema nos oferece uma segunda opção, o armazenamento dos dados coletados pelos sensores em um cartão de memória interno. Esses dados ficarão armazenados em um arquivo no formato de arquivo CSV (*Comma Separated Values*) para uma posterior extração e análise pelo pesquisado. O formato CSV pode ser utilizado por diversos programas como o *Microsoft Excel*, *MatLab*, *R-Studio* dentre vários outros programas utilizados para manipulação de dados nesse formato.

Figura 23: Esquema de funcionamento do sistema proposto

E por último, o sistema também conta com a visualização dos dados através de dispositivos móveis, como *tablets* e celulares, para isso, utiliza-se aplicativos que realizam a leitura dos dados que estão no *broker*, a exemplo do *ThingView*.

CAPÍTULO V

5. Resultado e análise

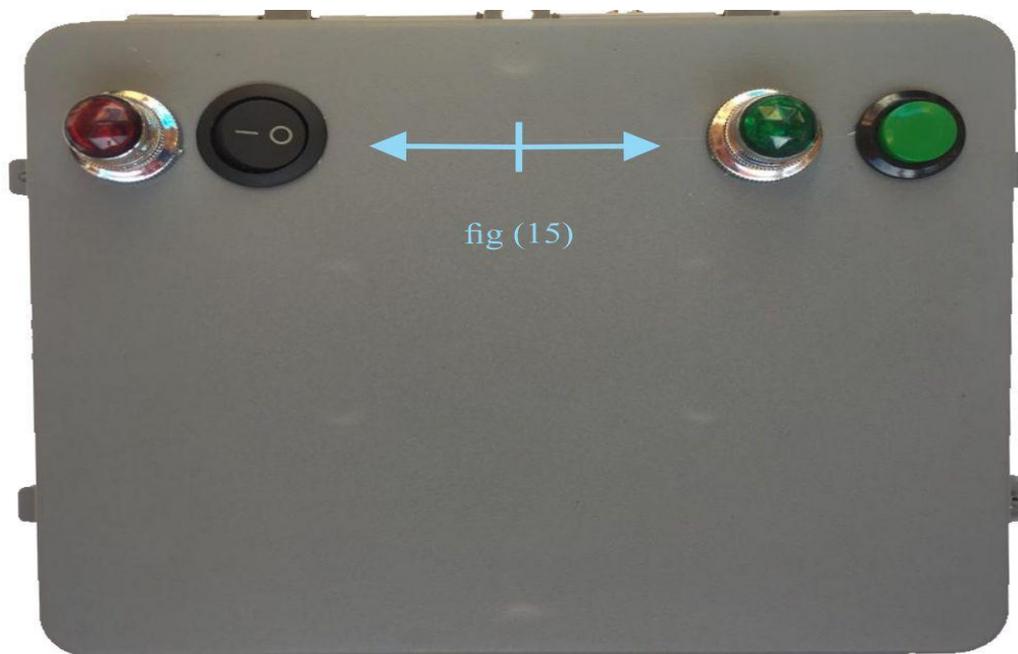
Neste capítulo serão apresentados os resultados alcançados com o sistema multiparâmetro desenvolvido. É importante ressaltar que, como protótipo, devido a oxidação dos circuitos conectados a *protoboard*, que é uma placa de matriz de contato, que facilita as conexões para a montagem de circuitos elétricos, uma vez que não necessita de soldagem.

5.1 Resultado da solução integrada

Com a popularização dos sistemas embarcados, aliados, na maioria das vezes, ao seu baixo custo, optou-se por utilizar o *hardware* de pequena monta, porém que suprissem a demanda especificada. Nas (Figuras 23 a 28) temos uma visão geral do sistema integrado, a descrição detalhada de cada componente, encontra-se no capítulo 4.

Assim, temos as seguintes descrições das imagens abaixo. A (Figura 23) mostra-nos a parte superior da caixa hermética, suas especificações encontram-se no texto em capítulos anteriores numerados de acordo com a imagem. A (Figura 24) parte interna da caixa, onde encontra-se a bateria de alimentação do circuito.

Figura 24: Vista de cima, liga-desliga e LED's indicador



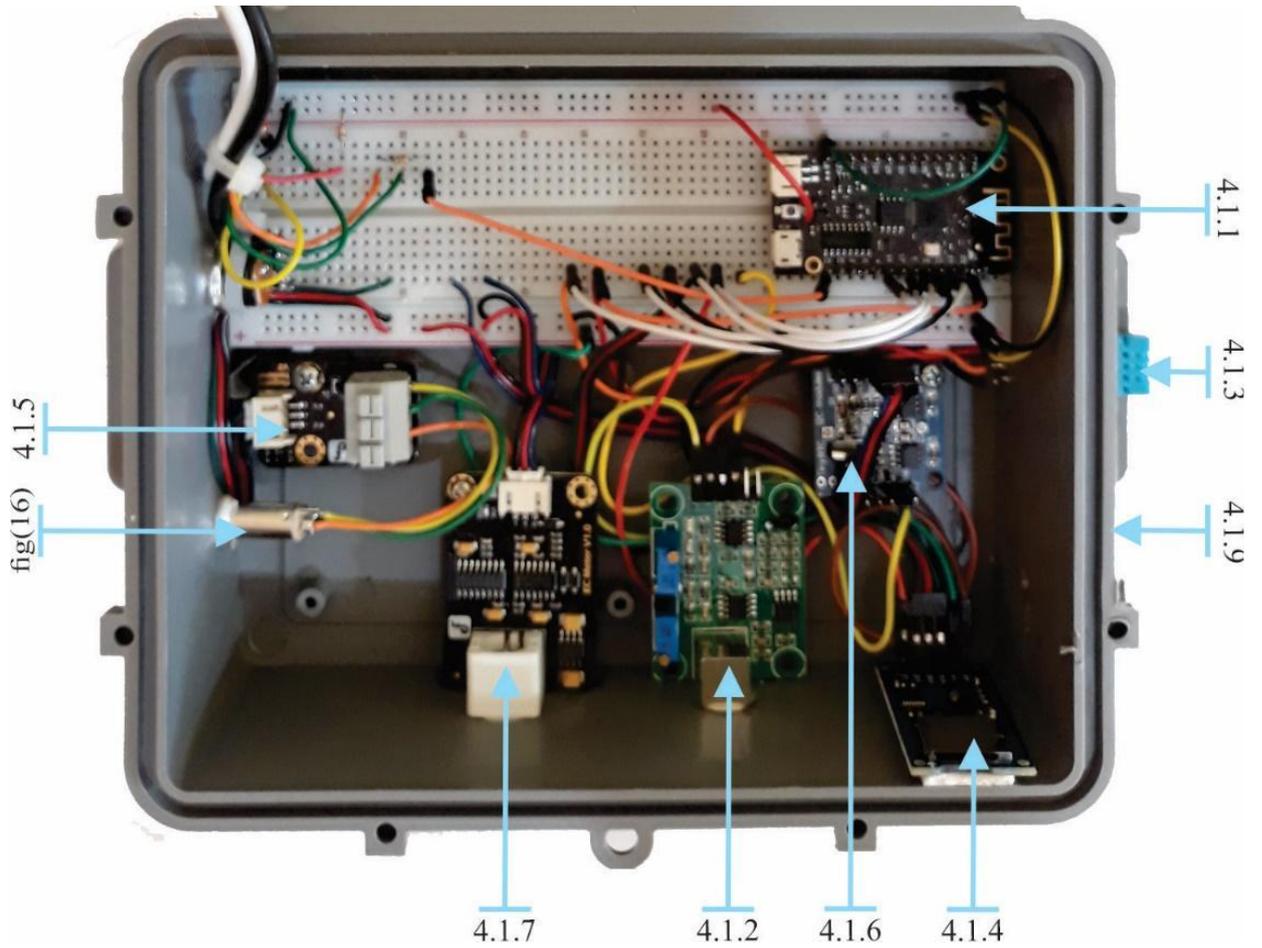
Fonte: Elaborado pelos autores.

A (Figura 25) o circuito montado internamente na caixa hermética é mostrado também a disposição do DHT11, sensor de temperatura. A (Figura 26) mostra as conexões BNC de encaixe rápido para os sensores de pH e CE. Na (Figura 27) é mostrado a entrada do carregador de bateria e temperatura da água com conector *plug* P2 de 3 vias. Já na (Figura 28) é mostrado os 3 sensores auto destacáveis.

Figura 25: Sistema de alimentação do circuito

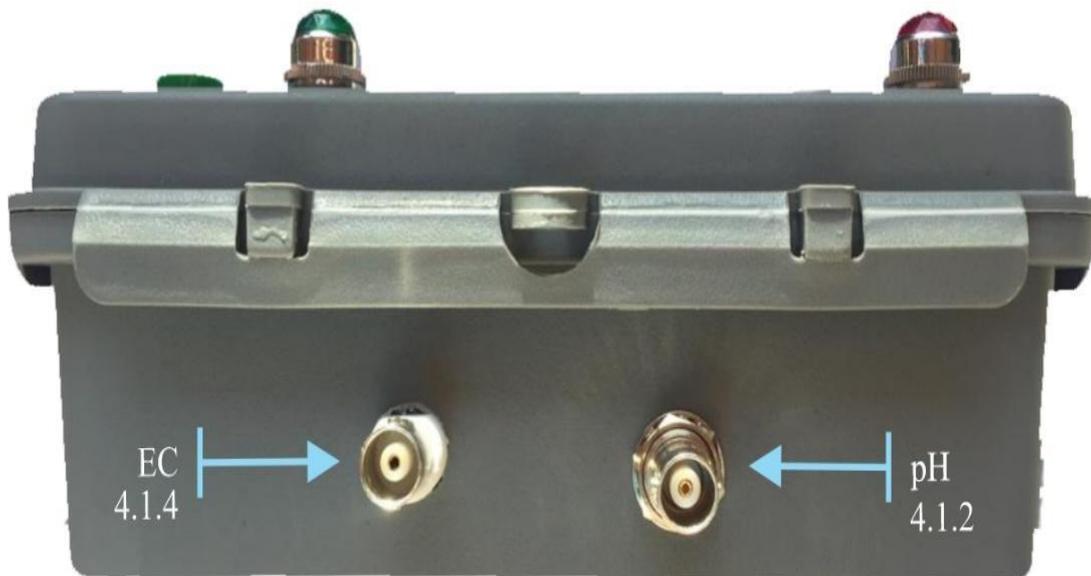


Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 26: Sistema integrado montado na *protoboard*

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 27: Conectores BNC do CE e pH



Fonte: Elaborada pelos autores.

Figura 28: Conexões carregador da bateria e conector de temperatura



Fonte: Elaborada pelos autores

Figura 29: Eletrodo dos sensores utilizados



Fonte: Elaborado pelos autores

5.2 Esquema lógico do funcionamento do sistema

O algoritmo de funcionamento, mostrado na (Figura 29) é a parte lógica do funcionamento do sistema. Através de um algoritmo descritivo, escrito em português estruturado e dividido em blocos é apresentado o funcionamento da programação do sistema proposto.

Figura 30: Funcionamento do sistema

<pre> 1 var ConexãoInternet, aferirPH, dhtSensor, AfereEC, inteiro 2 3 // inicialização do sistema 4 se ConexãoInternet = Ligado 5 mostra_ip_monitor_serial 6 1 beep 7 senão repita operação 8 fimse 9 10 // Busca atualização do RTC 11 se RTC = (status_atualizado) então 12 inicia_as_aferições 13 2 beeps 14 senão repita a operação em 10s 15 fimse 16 17 // Início das aferições dos sensores 18 enquanto (sistema_ligado) faça 19 afere: 20 pH 21 Umidade_do_ar 22 temperatura_da_água 23 temperatura_do_ambiente 24 Condutividade_Eletrica 25 fimenquanto 26 mostra_dados_monitor_serial 27 28 // Gravação dos dados no cartão SD 29 se cartão_SD = (disponível) então 30 grava_dados_das_aferições 31 senão 32 mostra_mensagem_erro_monitor_serial 33 repita operação em 10s 34 fimse 35 36 // Enviando dados para nuvem 37 se ConexãoInternet = Ligado 38 então (envia_dados_para_thing_speak) 39 mostra_dados_monitor_serial 40 3 beeps ao termino 41 senão repita operação 42 fimse </pre>	1	Testa Internet
<pre> 10 // Busca atualização do RTC 11 se RTC = (status_atualizado) então 12 inicia_as_aferições 13 2 beeps 14 senão repita a operação em 10s 15 fimse </pre>	2	Atualiza Data/Hora
<pre> 17 // Início das aferições dos sensores 18 enquanto (sistema_ligado) faça 19 afere: 20 pH 21 Umidade_do_ar 22 temperatura_da_água 23 temperatura_do_ambiente 24 Condutividade_Eletrica 25 fimenquanto 26 mostra_dados_monitor_serial </pre>	3	Início das aferições
<pre> 28 // Gravação dos dados no cartão SD 29 se cartão_SD = (disponível) então 30 grava_dados_das_aferições 31 senão 32 mostra_mensagem_erro_monitor_serial 33 repita operação em 10s 34 fimse </pre>	4	Grava no Cartão SD
<pre> 36 // Enviando dados para nuvem 37 se ConexãoInternet = Ligado 38 então (envia_dados_para_thing_speak) 39 mostra_dados_monitor_serial 40 3 beeps ao termino 41 senão repita operação 42 fimse </pre>	5	Envia da dos ThingSpeak

Fonte: Elaborado pelos autores

Em sintaxe o bloco de código 1, nos mostra o fluxo do sistema para conexão com a internet. Sendo um sistema de envio de dados *online*, o sistema ao ser iniciado verifica a conexão com a internet, realizando a conexão é emitido 1 *beep*, avisando. Ao passo que, no código 2, após a conexão com a internet o sistema sempre buscará a atualização da data/hora do relógio internet, garantido assim confiabilidade na coleta dos dados. No código 3 é mostrado a verificação dos sensores, repetindo continuamente até que seja desligado o sistema. Já, no código 4 é mostrado a gravação dos dados no cartão SD interno e por fim, no código 5 nos é mostrado o envio dos dados coletados para a internet para uma posterior e análise dos dados

5.3 Validação do modelo proposto

Modelos tem como objetivo facilitar e nortear o desenvolvimento final do produto. Nessa perspectiva, dado o universo do sistema proposto, a validação tem como mote verificar se o sistema possui as funcionalidades previstas nos objetivos proposto no projeto. A validação do modelo foi realizada de forma a avaliar se a proposta atende aos objetivos gerais, quais sejam: envio de dados para nuvem e recuperação da informação, tanto através da nuvem, onde ficará armazenado os dados, quanto pelo cartão *SDcard* que se encontra no sistema.

As etapas para a conclusão do presente trabalho foram:

- Formulação do problema;
- Construção do modelo;
- Determinação da solução;
- Teste e validação da solução;
- Implementação do modelo proposto.

O teste e validação do modelo proposta teve como abordagem a comparação com um sistema comercial validado no mercado. A validação do modelo proposto se deu apenas para fins de calibração, sendo que, é garantia do fabricante dos sensores que esses funcionem em ambiente de produção.

A validação do modelo, foi feita em laboratório, posto que, o modelo proposto não possui proteção na placa de prototipação, *protoboard*, e suas ligações podem oxidar com excesso de umidade e temperatura, trazendo-nos um valor inexato na coleta dos dados. Para que o sistema possa ser validado em ambiente de produção é necessário o desenvolvimento da uma placa de circuito impresso e seu encapsulamento deverá atender as normas da ABNT NBR IEC 60529 para proteção de invólucros em equipamentos elétricos, de forma a assegurar a proteção de poeira e água em seu interior.

5.3.1 Validação do sensor de pH

Para calibração e validação do sensor de pH (item 4.1.2) foi utilizado o aparelho medidor de pH portátil, modelo mPA-210p⁴, com saída RS232C e memória para 30 leituras, com calibração automática e, acoplado a este, temos também o sensor de temperatura individual, (Figura 30). Segundo o manual do fabricante, esse aparelho trabalha com sistema microprocessado, aferindo: pH/mV/ORP e temperatura. Podendo ser usado como termômetro.

Figura 31: Imagem real do equipamento utilizado para os testes.



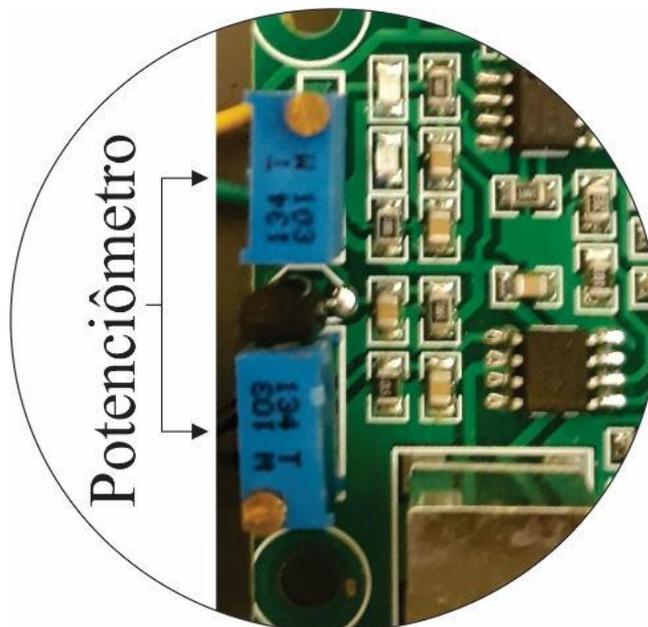
Fonte: Elaborado pelos autores.

Existem uma variedade de formas para aferir o pH, segundo a literatura, algumas delas são: por meio de papel pH, utilizando colorimétrica visual, utilizando sensores eletroquímicos e sensores óticos Almeida; Nohama (2005). Para calibração do equipamento desenvolvido foram utilizados procedimentos de calibração em soluções com pH precedentemente caracterizado.

⁴ <https://www.tecnopon.com.br/medidor-de-ph-portatil-mpa-210p/>

Com isso, através do potenciômetro, mostrado na (Figura 31), integrado ao circuito, podemos chegar ao valor dado pelo aparelho comparado. O microcontrolador é programado para tratar o sinal de tensão e associá-lo a um valor na escala de pH (0,0 a 14,0), ao final do processo os valores alcançados devem ser apresentados no monitor serial em um computador, Camelo *et al.* (2017).

Figura 32: Potenciômetro para regulagem

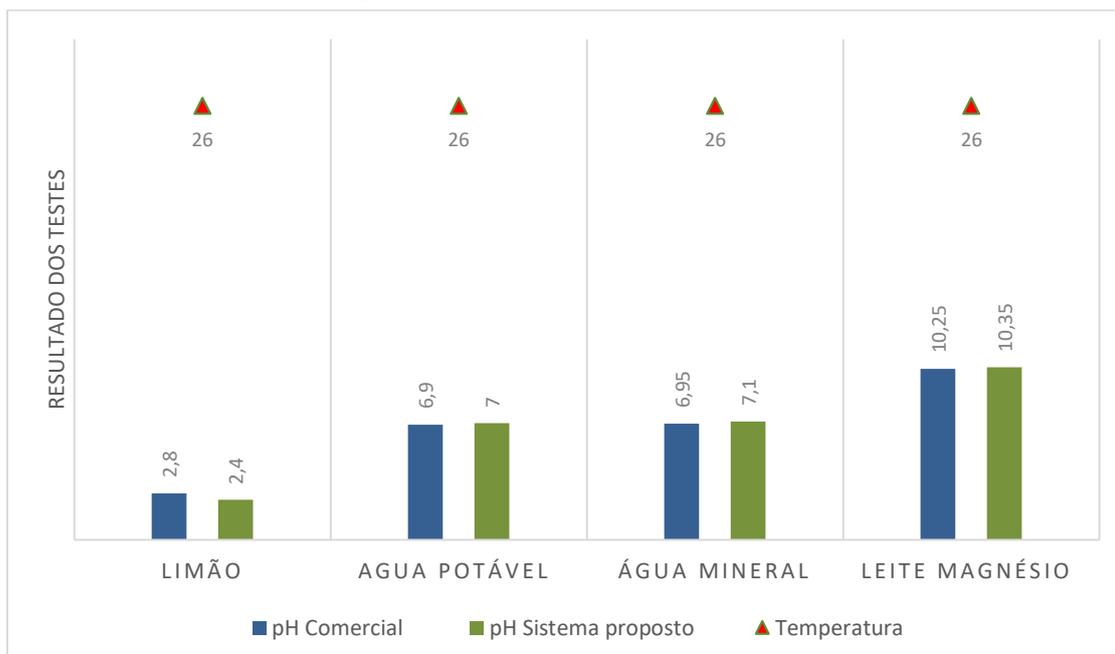


Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a calibração realizou-se testes com 4 soluções previamente selecionadas, obtivemos os seguintes resultados (Figura 32). A Calibração com pHmetro comercial, disponível no laboratório de Análises Químicas do IFTO - *Campus* Dianópolis, foi utilizado como padrão metodológico.

Após a calibração, foram realizados testes onde se aferiu o pH das amostras de vinagre, leite, água potável, água do poço artesiano retirada do local, confrontando com os valores aferidos com o pHmetro comercial. Os resultados são mostrados na (Figura 32).

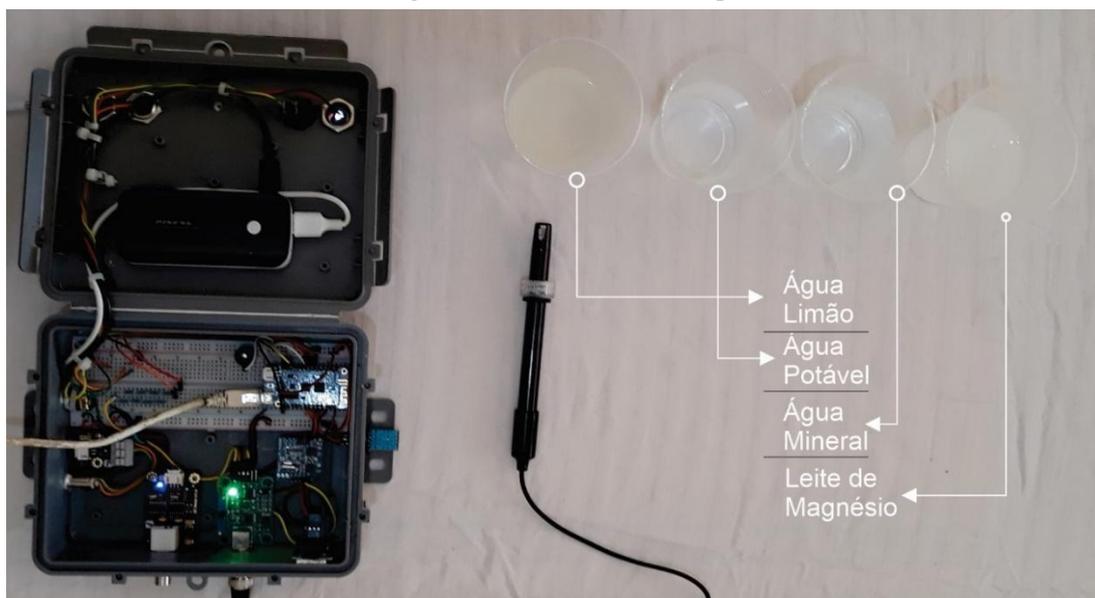
Figura 33: Resultados alcançados nos testes



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os testes de bancada demonstrados na (Figura 32) foram realizados no dia 21 de outubro de 2019. Todos os dados coletados pelo sensor, nessa data, encontram-se disponíveis na nuvem, no sistema *thingspeak* e podem ser consultados pelo *thingviwer*.

Figura 34: Banca de testes do pHmetro

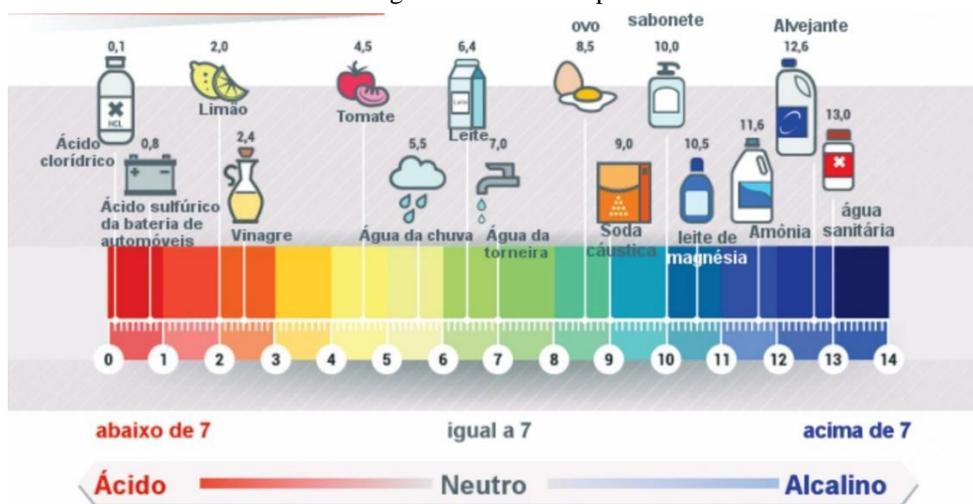


Fonte: Elaborado pelos autores.

Observou-se com os testes realizados uma pequena variação com o sensor de pH, variação essa, prevista pelas especificações técnicas do fabricante de 0.2pH. Na (Figura 34)

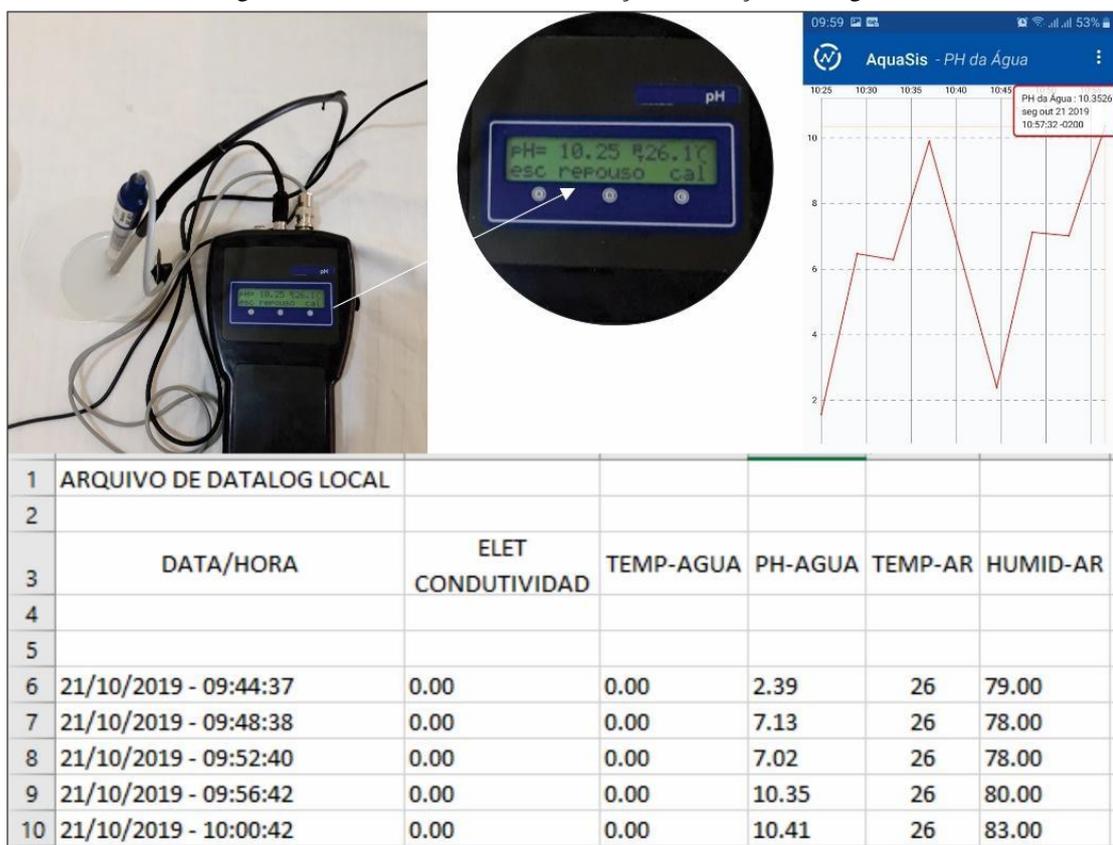
é mostrado uma escala de pH para alguns produtos e suas variações. Percebe-se que, os produtos testados estão na faixa de pH mostrada na Figura.

Figura 35: Escala do pH



Fonte: Retirado do site <<https://iquimicas.com>>

Figura 36: Resultado do teste e validação na solução de magnésio



Fonte: Elaborado pelos autores.

Para ajuste fino, do sistema proposto, foi necessária uma solução tampão, solução essa que, não veio com o equipamento, entretanto para a calibração, utilizamos valores medianos em solução com pH em aproximadamente em 7pH. Na (Figura 35) é mostrado o valor mostrado pelo pHmetro digital mPA-210p V. 11.1, em uma solução contendo leite de magnésio, o valor foi enviado simultaneamente para o *thingspeak* e recebido pelo *thingiwer*, os dados forma são armazenados no cartão *SDcard* do sistema, com isso, temos a validação da proposta apresentada no que refere-se ao pHmetro

5.3.2 Validação do sensor de temperatura e umidade

A umidade e temperatura influencia em uma gama de processos físicos, químicos e biológicos, Dias (2001). Em decorrência disso, vários são os métodos estudados na literatura com esse fim, a exemplo temos:

- Higrômetros mecânicos
- Psicômetros de bulbos seco e úmido
- Medidores por impedância elétrica (Capacitivos ou Resistivos)
- Sensores capacitivos
- Sensores resistivos
- Sensores de ponto de orvalho por impedância
- Higrômetros por condensação
- Higrômetros de cloreto de lítio saturado
- Higrômetros espectroscópicos
- Medidores de umidade por mudança de cor
- Outros métodos

Para a validação do sensor, utilizamos um higrômetro Max-Min *Thermometer Hygrometer*, para comparação, obtivemos os seguintes resultados do decorrer do dia, com os dois sensores, do sistema proposto e o higrômetro digital lado a lado, (Quadro 13).

Quadro 12: Validação sensor temperatura e umidade

Horário	Higrômetro Digital		Sistema proposto	
	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
08:30	29	39	31	42
12:00	32	41	31	40
14:00	33	42	31,5	39
18:20	31,4	40	33	42

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 37: Higrômetro digital para validação do sistema proposto.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Isto posto, mediante a comparação com sistema digital (Figura 36) utilizado no *campus*, percebe-se que, há uma variação média de 4% na temperatura em comparação ao sistema proposto e $\pm 5\%$ na umidade, variação essa, que, de acordo com o fabricante está dentro dos valores aceitáveis.

5.3.3 Validação e calibração do sensor de condutividade elétrica

Para validação e calibração do sensor de condutividade elétrica – CE, utilizamos condutivímetro portátil com temperatura automática da marca Lutron, modelo CD – 4301, (Figura 37).

Figura 38: Condutivímetro utilizado para os testes



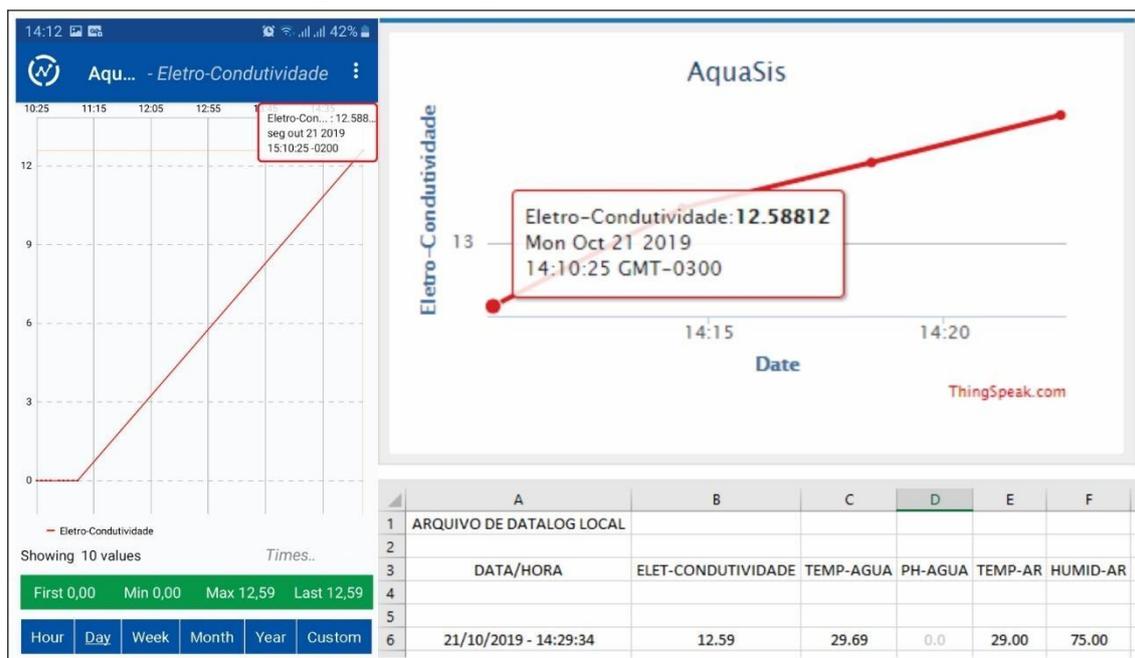
Fonte: Elaborado pelos autores.

Observou-se, com os testes realizados em laboratório, que o sensor utilizado na modelagem só funciona em água parada. Dessa forma, para melhor resultado o sensor de condutividade elétrica não pode ser utilizado diretamente na água corrente, uma vez que, as bolhas de ar provenientes da água corrente interferem diretamente no resultado, e a movimentação direta dos íons provenientes da agitação da água podem interferem no resultado obtido pelo sensor.

Para a validação do sensor de condutividade elétrica, com propósito de testar sua calibração, imergimos a ponta de prova na solução enviada pelo fabricante, não sendo necessário confirmar com outro dispositivo, visto que o sensor mostrou o valor enviado pelo fabricante, na solução. Vale destacar também que, a ponta de prova do equipamento não pode ficar ininterruptamente imerso em solução aquosa, segundo o manual do fabricante, como consequência, pode-se danificar a membrana do equipamento.

No processo de calibração, utilizamos primeiramente água destilada, com objetivo de limpar o sensor, posto que, essa solução não possui íons, evitando assim a contaminação da solução de calibração com a solução a ser mensurada, oferecendo melhor resultado. Utilizou-se a solução 12.88 ms/cm (*micro siemens*) 25°C , que acompanha o equipamento para sua calibração e validação (Figura 38).

Figura 39: Validação do sensor de condutividade elétrica



Fonte: Elaborado pelos autores.

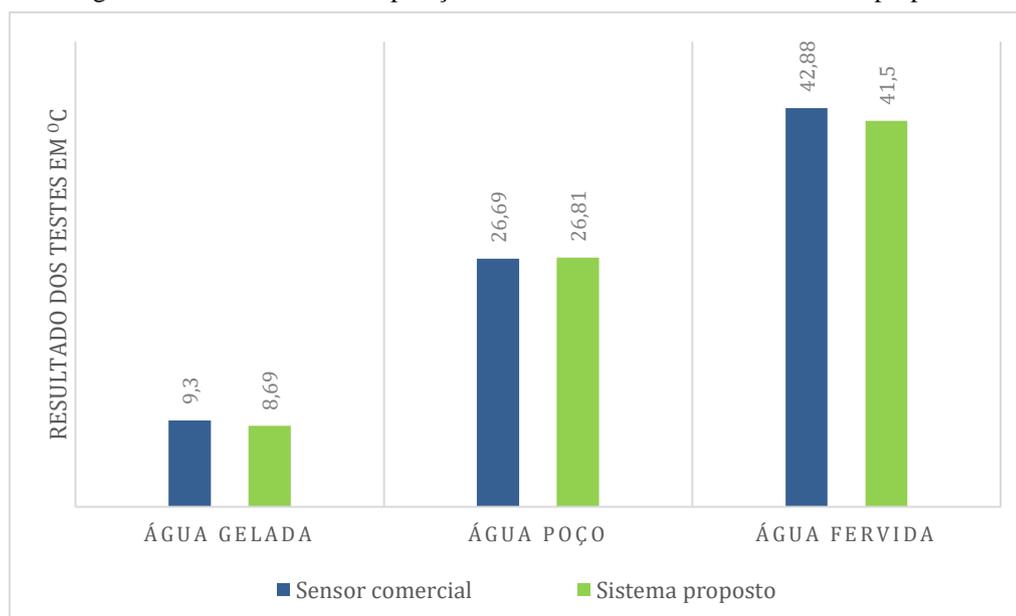
O estudo feito por Barron; Ashton (2011) nos mostra o efeito da temperatura na medição de condutividade. Existem tabelas com as condutividades de soluções padrão, que são usadas para comparação e para calibração dos instrumentos. Essas condutividades são medidas em 25 °C. Para medidas de condutividade feitas em temperaturas diferentes de 25 °C, geralmente é feita uma estimativa para o valor em 25 °C para viabilizar comparações.

Muitos medidores de condutividade possuem um sensor de temperatura acoplado, e essa conversão para a condutividade a 25°C é feita automaticamente. Por fim, destaca-se que o sensor de condutividade elétrica veio validado de fábrica, dado que, o resultado da condutividade elétrica aferida da solução enviada pelo fabricante coincidiu com o valor aferido pelo condutímetro.

5.3.4 Validação do sensor de Temperatura da água

Para validação da temperatura da água, utilizamos o aparelho medidor de pH e condutímetro digital portátil, modelo mPA-210p, que acompanha um sensor de temperatura individual, podendo ser utilizado como termômetro (Figura 41). Para validação do sensor de temperatura da água colocamos o termômetro digital em 3 soluções diferentes, juntamente com mPA-210p e obtemos assim os seguintes resultados (Figura 39), vejamos:

Figura 40: Resultados da comparação entre o sensor comercial e o sistema proposto



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na confrontação com o sistema comercial, o sistema proposto, observa-se uma pequena diferença nos dados obtidos, cerca de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, isso se deve a variação de cada sensor, segundo o fabricante essa variação é aceitável.

Figura 41: Gravação dos dados no cartão SD

	A	B	C	D	E	F
1	ARQUIVO DE DATALOG LOCAL					
2						
3	DATA/HORA	ELET-CONDUTIVIDADE	TEMP-AGUA	PH-AGUA	TEMP-AR	HUMID-AR
4						
5						
6	17/10/2019 - 11:10:22	-1.00	7.62	0.00	27.00	68.00
7	17/10/2019 - 11:14:23	-1.00	8.69	0.00	27.00	67.00
8	17/10/2019 - 11:18:24	-1.00	26.81	0.00	27.00	67.00
9	17/10/2019 - 11:22:27	-1.00	42.88	0.00	27.00	67.00
10	17/10/2019 - 11:26:29	-1.00	41.50	0.00	27.00	66.00

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na (Figura 40) é mostrado a estrutura dos dados que são gravados no cartão SD, apenas a coluna “TEMP-ÁGUA” estava em funcionamento no momento para fins de validação. O método utilizado foi a utilização de três recipientes com líquidos em temperaturas diferentes, (Figura 41). O primeiro, da direita para esquerda estava com água gelada, o segundo água natural, retirada da torneira e o terceiro, com água levemente fervida, o intuito foi apenas mensurar a variação de temperatura pelos sensores.

Nos testes, o sensor de temperatura mostrou-se eficaz para modelo proposto, gravando os dados internamente no cartão SD e enviando os dados para a nuvem, a cada 4 minutos de ciclo de aferições. dessa forma, temos uma melhor precisão e rapidez na análise dos dados através do sistema de análise do *ThingSpeak* ou através dos dados gravados pelo cartão SD, onde esses podem ser trabalhados em programas de análise de dados como a linguagem de programação R, Python, Excel, *PowerBI*, dentre outros, os onde se trabalham com manipulação de arquivos em formato CSV.

Figura 42: Tese com o sensor de temperatura



Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4 Comparação custo e produtividade

5.4.1 Custo dos equipamentos

Por ser uma nova área de pesquisa e desenvolvimento, eletrônica e computação – IoT, a maioria dos materiais apresentados no (Quadro 14), foram adquiridos em sites especializados, uma vez que, não há disponível para aquisição nas lojas de informática em Palmas/TO. Todos os equipamentos foram adquiridos no Brasil.

Quadro 13: Valor médio da aquisição dos componentes

MATERIAIS	QUANT.	VALOR APROX. (R\$)
Microcontrolador ESP-WROOM-32 LOLIN Lite	1	60,00
Sensor de pH + modulo, modelo E-201	1	120,00
Caixa Hermética	1	40,00
Sensor de temperatura da água	1	30,00
Sensor de Condutividade Elétrica/Metro V2	1	295,00
Modulo RTC DS1302	1	10,00
Bateria de Lítio de 3V	1	5,00
Protoboard 400 pinos	1	12,00
Bateria portátil recarregável de 5000mah	1	45,00
Modulo SD Card	1	8,00
TOTAL		625,00

Fonte: Elaborado pelos autores.

5.4.2 Equipamento similar encontrado no mercado

Segundo pesquisa realizada pela *PayPal*, (2018) são mais de 675 mil lojas online. Com essa diversidade, optamos por pesquisar em lojas de produtos especializados, cujo produto corresponda com a proposta desenvolvida. Foram selecionadas 3 lojas, para fins de confrontação, como mostrado no (Quadro 14).

Os dois últimos modelos utilizados para comparação (Quadro 14, referência 7 e 8) foram os modelos utilizados no *campus* Dianópolis, modelos esses que utilizamos para a confrontação com o sistema proposto.

Para efeito de comparação, dos diversos equipamentos encontrados nas lojas virtuais, selecionamos os que continham funcionalidades equivalentes ao protótipo. Desse modo, vale

destacar que que não foram descobertos produtos com características de conectividade com a internet

A maioria dos dispositivos possuem a gravação dos dados feitas em uma memória interna, como demonstrado no (Quadro 14), alguns com limitações, como por exemplo o item 3, que possui uma limitação de 99 gravações na memória interna e o item 7, que possuem limitação de 30 gravações internas. De outro modo, os itens 1, 2, 5, 6 possuem apenas um visor que mostra os dados aferidos, sem possibilidade de gravação dos dados.

Quadro 14: Valor médio de equipamento similar encontrado no mercado

EMPRESA	EQUIPAMENTO	REF	Sensores					VALOR (R\$)
			pH	CE	Temp. água	Temp.	OD	
Akso loja virtual	Combo Água Basic (pH AK90 + Condutivímetro Ak51)	1						472,50
	Medidor Multiparâmetro de Bolso	2						1.020,00
	Multiparâmetro (pH/Cond/OD/Temp) Ak88	3						2.690,00
ForlabExpress	Medidor de Ec/Tds à Prova D'água para Hidroponia Hanna	4						416,70
Tecno Ferramentas	Medidor de pH e Temperatura PH868-5	5						925,00
	Termo Higrômetro digital (Umidade e Temperatura)	6						141,99
Tecnopon - pHmetro Modelo mPA-210p	Medidor de pH e Temperatura (cotação em 17/10/2019)	7						1.310,00
Lutron - Modelo CD-4301	Condutivímetro	8						1.192,00

Fonte: Consulta realizada no dia 01/09/2019.

Os valores referentes ao (Quadro 14) foram retirados, de sites de revendedores e/ou fabricantes que disponibilizam o produto para compra online. Vale destacar que, foi orçado o item referência número 7 via e-mail no dia 17 de outubro de 2019.

CAPÍTULO VI

6. Considerações finais

No presente trabalho foi proposto uma plataforma multiparâmetro, de baixo custo, objetivando o monitoramento da qualidade da água com intuito de subsidiar profissionais da Ciências Agrárias e produtores rurais, unificando o instrumento de coleta de dados, os sensores à internet.

Para o desenvolvimento do sistema proposto utilizou-se a plataforma ESP32 *Lolin*, em conjunto com sensores eletrônicos de pH, condutividade elétrica, umidade, temperatura da água e do ambiente, objetivando o monitoramento físico-químico em sistemas hidropônicos.

Com o processo atual de coleta de dados percebe-se a viabilidade desse sistema, visto que, todos os equipamentos utilizados pelos pesquisados opera de forma manual no que concerne o armazenamento dos dados coletados, nesse modelo, erros de escrita são comuns, podendo inviabilizar toda a pesquisa.

De outro modo, utilizando o sistema automático para armazenamento e análise dos dados coletados temos além da eficiência a diminuição do erro, tendo em vista que, o próprio sistema grava os dados coletados pelos sensores no banco de dados.

Portanto, avaliou-se positivamente o desenvolvimento do protótipo, uma vez que o custo-benefício foi inferior aos encontrados no mercado, como mostrado no (Quadro 14), dando ao usuário maior segurança na coleta dos dados, sendo essas coletas automáticas, elimina-se a possibilidade de erros nas anotações.

Entretanto, devido a possibilidade da rápida oxidação e o alargamento da matriz, ocasionando perda de contato, resultados imprecisos podem acontecer durante a utilização do presente protótipo. Por essas razões, limitamo-nos a testes supervisionados, de bancada, com fito de não danificar os circuitos do projeto, para intervalos de tempo maiores e em campo, portanto, faz-se necessário o desenvolvimento e fabricação de uma placa de circuito impresso, com vedações específicas para esse tipo de circuito de acordo com as especificações técnicas.

6.1 Trabalhos futuros

Esse sistema mostrou-se financeiramente viável, útil e facilmente aplicável, entretanto, para torná-lo, mas prático e produzi-lo em larga escala para ser distribuído nas instituições de ensino e pesquisa, deve-se produzir as placas de circuito impresso e colocá-las em um revestimento para transporte, gerando um laboratório móvel, conectado à internet.

Para facilitar as configurações do sistema com à internet, poderá ser desenvolvido uma interface gráfica para conexões em redes *wifi* e *hotspot*, podendo ser utilizado até mesmo o *wifi manager* do próprio ESP32, facilitando assim as configurações de uso do sistema.

E por fim, para melhor experiência do usuário, com uma interface mais amigável, o sistema necessitará de um display LCD para visualização dos dados, por hora não dispomos desses dispositivos, para visualização dos dados utilizamos o próprio monitor na saída serial do sistema, assim, podemos ver em tempo real as aferições sendo realizadas pelos sensores.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, A. R.; MARIANO, A. B.; SCREMIN, B. L.; MOREIRA, G. F. N.; LOPES, P. H. P. M. **Projeto e desenvolvimento de laboratório móvel para monitoramento ambiental dos níveis de temperatura e humidade baseado em Internet das Coisas (IoT).**, 2018. Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/cricte/article/view/8855>>. Acesso em: 19/4/2019.
- ALMEIDA, A. R.; SCREMIM, B. L.; MOREIRA, G. F. N.; LOPES, P. H. P. M.; MARIANO, A. B. **Projeto e desenvolvimento de um laboratório móvel para monitoramento ambiental de corpos de água baseado em internet das coisas (IoT).** , 2017. Disponível em: <<https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/cricte/article/view/8857>>. Acesso em: 21/4/2019.
- ALMEIDA, N. H.; NOHAMA, P. **Metodologia para avaliação e qualificação de instrumentos de medidores de pH**, 2005. Dissertação de Mestrado, Curitiba: PUC - PR. Disponível em: <<http://www.quimlab.com.br/PDF-LA/Medolologia%20para%20avalia%E7%E3o%20e%20qualifica%E7%E3o%20de%20ins trumentos%20medidores%20de%20pH.pdf>>. Acesso em: 16/10/2019.
- ATZORI, L.; IERA, A.; MORABITO, G. The Internet of Things: A survey. **Computer Networks**, v. 54, n. 15, p. 2787–2805, 2010.
- BARRON, J. J.; ASHTON, C. **The Effect of Temperature on Conductivity Measurement.** , , n. 3, p. 6, 2011.
- BARROS, A. J. DA S.; LEHFELD, N. A. DE S. **Fundamentos de metodologia científica.** 3º ed. São Paulo, SP: Pearson, 2007.
- BRASIL, F. N. DE S. **Manual prático de análise de água.** 4º ed. Brasília - DF, 2013.
- CAMELO, L. F.; DE FREITAS, F. R.; DE ANDRADE, V. S. **DESENVOLVIMENTO E CALIBRAÇÃO DE SENSOR DE MEDIDA DE PH COM PLATAFORMA ARDUÍNO PARA EMPREGO EM ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTO.**, p. 5, 2017.
- CHEN, Y.; HAN, D. **Water quality monitoring in smart city: A pilot project.** Automation in Construction, v. 89, p. 307–316, 2018.
- DAS, B.; JAIN, P. Real-time water quality monitoring system using Internet of Things. **2017 International Conference on Computer, Communications and Electronics (Comptelix)**, p. 78–82, 2017.
- DIAS, J. B. **CONSTRUÇÃO E VALIDAÇÃO DE UMA BANCADA PARA CALIBRAÇÃO DE SENSORES PARA DETERMINAÇÃO DA UMIDADE RELATIVA DO AR**, 2001. Programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, UFRGS. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3168/000333246.pdf?sequence=1>>. .

EGÍDIO, N. B.; LEVY, B. P. AS TÉCNICAS DE HIDROPONIA. **Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica**, v. 8, n. 0, p. 107–137, 2013.

EVANS, D. The internet of things: How the next evolution of the internet is changing everything. **CISCO white paper**, v. 1, n. 2011, p. 1–11, 2011.

GIELEN, G. **Design of low-power sensor interfaces in the IoT** era. 2015 6th International Workshop on Advances in Sensors and Interfaces (IWASI). Anais... . p.173–173, 2015. Gallipoli: IEEE.

LAMBROU, T. P.; ANASTASIOU, C. C.; PANAYIOTOU, C. G.; POLYCARPOU, M. M. **A Low-Cost Sensor Network for Real-Time Monitoring and Contamination Detection in Drinking Water Distribution Systems**. *IEEE Sensors Journal*, v. 14, n. 8, p. 2765–2772, 2014.

LEÃO, M. F.; OLIVEIRA, E. C.; PINO, J. C. D. ANÁLISES DE ÁGUA: UM ESTUDO SOBRE OS MÉTODOS E PARÂMETROS QUE GARANTEM A POTABILIDADE DESSA SUBSTÂNCIA FUNDAMENTAL PARA A VIDA. **REVISTA DESTAQUES ACADÊMICOS**, v. 6, n. 4, p. 8, 2014.

LI, D.; LIU, S. **Wireless Sensor Networks in Water Quality Monitoring**. *Water Quality Monitoring and Management*. p.55–100, 2019. Elsevier. Disponível em: <<https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780128113301000028>>. Acesso em: 24/6/2019.

MACEDO, T. DE L.; REMPEL, C.; MACIEL, M. J. **Análise físico-química e microbiológica de água de poços artesianos em um município do Vale do Taquari-RS**. *Tecno-Lógica*, v. 22, n. 1, p. 58–65, 2018.

MANJU, M.; KARTHIK, V.; HARIHARAN, S.; SREEKAR, B. **Real time monitoring of the environmental parameters of an aquaponic system based on Internet of Things**. 2017 Third International Conference on Science Technology Engineering & Management (ICONSTEM), p. 943–948, 2017.

MARTINS, A. B.; COSTA, C. C. R. DA; AZEVEDO, M. T. DE; KOFUJI, S. T. **Gerenciamento da água com internet das coisas (IoT): uma aplicação em plantas de saneamento**. , v. 4, n. 2, 2017. Disponível em: <<http://investigaciones.uniatlantico.edu.co/revistas/index.php/Collectivus/article/view/1913/2075>>. .

MEIRELLES, F. DE S. **30º Pesquisa Anual do Uso de TI**. São Paulo, SP: FVG, 2019.

MINERVA, R.; BIRU, A.; ROTONDI, D. **Towards a definition of the Internet of Things (IoT)**. IEEE, 2015.

MOPARTHI, N. R.; MUKESH, CH.; VIDYA SAGAR, P. **Water Quality Monitoring System Using IOT**. **2018 Fourth International Conference on Advances in Electrical, Electronics, Information, Communication and Bio-Informatics (AEEICB)**, p. 1–5, 2018.

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. DE F.; PEREIRA, C. M. **Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água**. , 2011. Embrapa Florestais. Disponível em:

<<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>>. Acesso em: 30/8/2019.

PULE, M.; YAHYA, A.; CHUMA, J. **Wireless sensor networks: A survey on monitoring water quality**. Journal of Applied Research and Technology, v. 15, n. 6, p. 562–570, 2017.

QUEIROZ, J. F. DE; FREATO, T. A.; LUIZ, A. J. B.; ISHIKAWA, M. M.; FRIGHETTO, R. T. S. **Boas práticas de manejo para sistemas de aquaponia.**, 2017. Embrapa Meio Ambiente.

RAMALHO, S. M. C. **Sensor de Condutividade com Condicionamento de Sinal**, out. 2009. Lisboa-PT: Universidde Técnica de Lisboa. Acesso em: 20/9/2019.

RAMOS, A. L. B. M. **Metodologias de Desenvolvimento de Sistemas**. Rio de Janeiro: Estácio, 2017.

SALUNKE, P.; KATE, J. **Advanced smart sensor interface in internet of things for water quality monitoring**. 2017 International Conference on Data Management, Analytics and Innovation (ICDMAI), p. 298–302, 2017.

SALVADOR, Â. D. **Métodos e técnicas de pesquisa bibliográfica, elaboração e relatório de estudos científicos**. 9^o ed. Porto Alegre: Sulina, 1981.

THINGSPEAK. **ThingSpeak - IoT**. Disponível em: <https://thingspeak.com/pages/learn_more>. Acesso em: 14/8/2019.

VIJAYAKUMAR, N.; RAMYA, R. **The real time monitoring of water quality in IoT environment**. 2015 International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS), p. 1–5, 2015.

VILAÇA, M. **Pesquisa e ensino: considerações e reflexões.**, v. 1, n. 2, 2010. Disponível em: <https://revista.uniabeu.edu.br/index.php/RE/article/view/26/pdf_23>. Acesso em: 21/6/2019.

WEISER, M. **The computer for the 21st Century**. IEEE Pervasive Computing, v. 1, n. 1, p. 19–25, 2002.

YAURI, R.; RIOS, M.; LEZAMA, J. **Water quality monitoring of Peruvian Amazon based in the Internet of Things**. 2017 IEEE XXIV International Conference on Electronics, Electrical Engineering and Computing (INTERCON), p. 1–4, 2017.

ZOTERO.ORG. **Zotero. Your personal research assistant**. 2019.

APÊNDICES

CONTRIBUIÇÕES E TRABALHOS PUBLICADOS

TÍTULO: DEVELOPMENT OF A LOW-COST SYSTEM FOR WATER QUALITY MONITORING: BIBLIOGRAPHIC REVIEW

<https://ijaers.com/detail/development-of-a-low-cost-system-for-water-quality-monitoring-bibliographic-review/>

TÍTULO: LPG LEAKAGE DETECTION SYSTEM USING PHONE CALLS ALERTS TO PREVENT ACCIDENTS AND AVOID INJURIES

<https://www.journalijdr.com/lpg-leakage-detection-system-using-phone-calls-alerts-prevent-accidents-and-avoid-injuries>

TÍTULO: DEVELOPMENT OF A LOW-COST SYSTEM FOR MONITORING WATER QUALITY APPLIED TO FISH CULTURE

<https://ijaers.com/detail/development-of-a-low-cost-system-for-monitoring-water-quality-applied-to-fish-culture/>

TÍTULO: ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS

<http://propi.ifto.edu.br/ocs/index.php/jice/9jice/paper/viewFile/9138/4068>

TÍTULO: QUALIFICAÇÃO DO POLICIAL MILITAR TOCANTINENSE FRENTE A EDUCAÇÃO MEDIADA POR TECNOLOGIAS

<https://revista.unitins.br/index.php/humanidadeseinovacao/article/view/1185>

APRESENTAÇÃO DE TRABALHO: FEIRA TECNOLÓGICA UNIVERSIDADE E EMPRESA (UNITEC). APRESENTAÇÃO DO TRABALHO PALMAS/TO

<https://ww2.uft.edu.br/index.php/ultimas-noticias/26250-monitoramento-da-qualidade-da-agua-atraves-de-iot-e-apresentado-na-unitec>

CAPÍTULO DE LIVRO: ESTUDO DA VIABILIDADE NO DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA COMPUTACIONAL DE BAIXO CUSTO PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA ÁGUA EM CULTIVOS DE ORGANISMOS AQUÁTICOS: APLICAÇÃO INICIAL EM VIVEIROS ESCAVADOS

<https://www.atenaeditora.com.br/wp-content/uploads/2019/09/E-BOOK-Estudos-Interdisciplinares-nas-Ciencias-Exatas-e-da-Terra-e-Engenharias-4-.pdf>

DOI: 10.22533/at.ed.22519110932 - ISBN 978-85-7247-622-5

