

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
FLUMINENSE - IFF  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM SISTEMAS APLICADOS À  
ENGENHARIA E GESTÃO  
NÍVEL MESTRADO PROFISSIONAL**

**RICARDO DE OLIVEIRA**

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA BELL JAR PARA  
MONITORAMENTO DE METABOLISMO BENTÔNICO  
ACOPLADO COM ELETRÔNICA MICROCONTROLADA  
MULTIPARAMÉTRICA EMBARCADA**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES**

**2019**

**Ricardo de Oliveira**

**Desenvolvimento de Sistema Bell Jar para Monitoramento de  
Metabolismo Bentônico acoplado com Eletrônica  
Microcontrolada Multiparamétrica Embarcada**

Trabalho apresentado como requisito para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão do Instituto Federal Fluminense - IFF.

Orientador: Prof. Dr. Renato Gomes Sobral Barcellos

Campos dos Goytacazes

2019

Biblioteca Anton Dakitsch  
CIP - Catalogação na Publicação

O418d Oliveira, Ricardo de  
Desenvolvimento de sistema tipo bell jar para monitoramento de metabolismo bentônico acoplado com eletrônica microcontrolada multiparamétrica embarcada / Ricardo de Oliveira - 2019.  
81 f.: il. color.

Orientador: Renato Gomes Sobral Barcellos

Dissertação (mestrado) -- Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, Campus Campos Centro, Curso de Mestrado Profissional em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão, Campos dos Goytacazes, RJ, 2019.  
Referências: f. 58 a 61.

1. Monitoramento Ambiental. 2. Automação . 3. Microcontrolador. 4. Bell Jar. I. Gomes Sobral Barcellos, Renato, orient. II. Título.

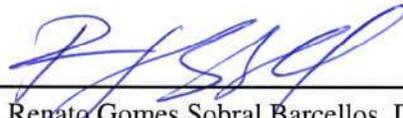
**Ricardo de Oliveira**

**Desenvolvimento de Sistema tipo Bell Jar para  
Monitoramento de Metabolismo Bentônico acoplado com  
Eletrônica Microcontrolada Multiparamétrica Embarcada**

Trabalho apresentado como requisito para a obtenção do título de Mestre, pelo Programa de Pós-Graduação em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão do Instituto Federal Fluminense - IFF.

Aprovado em 25 de Fevereiro de 2019.

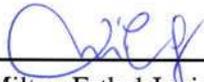
BANCA EXAMINADORA:



Renato Gomes Sobral Barcellos, D.Sc.  
Instituto Federal Fluminense  
(Orientador)



Julio César de Faria Alvim Wasserman, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense



Milton Erthal Junior, D.Sc.  
Instituto Federal Fluminense



William Vianna da Silva, D.Sc.  
Instituto Federal Fluminense

Visto e permitida a impressão  
Campos dos Goytacazes

Prof. Dr. Simone Vasconcelos Silva  
Coordenador PPG em Sistemas Aplicados à Engenharia e Gestão

*"Se você julgar um peixe pela sua capacidade de escalar árvores,  
gastará sua vida acreditando que ele é estúpido. - Einstein, Albert.*

# AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, que em sua infinita sabedoria colocou força em meu coração para vencer essa etapa de minha vida. A fé no Senhor, sem dúvidas, me ajudou a lutar até o fim.

Gostaria de agradecer minha família, especialmente minha mãe Maria de Lourdes, que fez de tudo para tornar os momentos difíceis mais brandos, também ao meu pai Wandir, que me proporcionou a tranquilidade e o conforto que tanto precisava para vencer esta etapa. Um obrigado aos meus irmãos que de alguma maneira estiveram presentes.

Sou grato a todos os professores que contribuíram com a minha trajetória acadêmica, especialmente ao Renato, responsável pela orientação do meu projeto. Obrigado por esclarecer tantas dúvidas e ser tão atencioso e paciente.

A todos os amigos que, felizmente, não caberia em poucas páginas e seria injusto deixar alguém de fora, meu muito obrigado. Vocês foram fundamentais para minha formação, por isso merecem meu eterno agradecimento.

Sou grato ao IFF, desde o pessoal do administrativo até o coordenador do curso, que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho.

## RESUMO

Este projeto tem o foco no desenvolvimento de um sistema de eletrônica embarcada com arquitetura microcontrolada acoplada a uma câmara bentônica. O sistema foi projetado para realizar medições e coletas de dados multiparamétricos, como: pH, temperatura, etc. de forma autônoma e armazená-los, como um *data logger*. O dispositivo é um sistema embarcado, baseado em uma arquitetura de código aberto e fácil escalabilidade, contendo sensores, microcontroladores e um encapsulamento. A eletrônica foi testada em laboratório com soluções de pH com valores predeterminados, a fim de estabelecer a curva de resposta do sensor de pH e sua equação característica. No *software* foi implementado um algoritmo para a automatização de coleta de dados, armazenamento, registro de data e hora e transmissão de dados via servidor web. O software contém a equação característica do sensor de pH para fazer as correções necessárias nas leituras e o servidor web para monitoramento das variáveis através de dispositivos móveis. O sistema completo foi testado em campo na Lagoa de Travessão, onde duas campanhas de coleta de dados foram realizadas. Cada campanha teve uma hora de duração. Na primeira foi medido o pH da Lagoa sem nenhuma interferência e na segunda campanha foi inserido ácido acético dentro do bell jar para modificar o pH no interior do sistema. Os testes mostraram que o sistema funciona de acordo com o proposto, realizando medições e armazenando-as para análise posterior. As amostras coletadas confirmam o funcionamento do sistema e sua confiabilidade (aproximadamente 90%), respondendo as expectativas e cumprindo os objetivos de ser escalável, possuir um baixo custo relativo e eficiência.

**Palavras-chaves:** Sistemas Microcontrolados, Sistemas Embarcados, Bell Jar, Sistemas Autônomos, pH, Temperatura.

## ABSTRACT

This project focuses on the development of an embedded electronics system with micro-controlled architecture coupled to a benthic chamber. The system is designed to perform measurements and data collection multiparametric, such as: pH, temperature, etc. And store them as a data logger. The device is an embedded system, based on an open source, scalable architecture, containing sensors, micro-controllers, and an encapsulation. The electronics were tested in the laboratory with pH solutions with predetermined values in order to establish the pH sensor response curve and its characteristic equation. In software, an algorithm was implemented for the automation of data collection, storage, time and date recording and data transmission via web server. The software contains the characteristic equation of the pH sensor to make the necessary corrections in the readings and the web server to monitor the variables through mobile devices. The complete system was field tested in the Travessão Lagoon, where two data collection campaigns were carried out. Each campaign lasted an hour. In the first one the pH of the Lagoon was measured without any interference and in the second campaign acetic acid was inserted inside the bell jar to modify the pH inside the system. The tests showed that the system works according to the proposed one, making measurements and storing them for later analysis. The collected samples confirm the operation of the system and its reliability (approximately 90 %), meeting the expectations and fulfilling the objectives of being scalable, have a low relative cost and efficiency.

**Key-words:** Microcontrolling Systems, Embedded Systems, Bell Jar, Autonomous Systems, pH, Temperature.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Uso do bell jar <i>in situ</i> . . . . .	16
Figura 2 – Microcontrolador - aparência de um circuito integrado . . . . .	26
Figura 3 – Nodemcu . . . . .	27
Figura 4 – Divisor Resistivo - Anexo A . . . . .	29
Figura 5 – Antes de Conectar ao ADC . . . . .	30
Figura 6 – Depois de conectar ao ADC . . . . .	30
Figura 7 – AmpOp Seguidor de Tensão . . . . .	30
Figura 8 – Circuito do Tratamento de Sinal . . . . .	31
Figura 9 – RTC - Real Time Clock . . . . .	32
Figura 10 – Módulo do cartão de memória . . . . .	33
Figura 11 – Sonda de PH e o circuito . . . . .	34
Figura 12 – Circuito Eletrônico pH . . . . .	35
Figura 13 – Esquema de ligação dos componentes . . . . .	39
Figura 14 – Projeto da Placa de Circuito Impresso . . . . .	40
Figura 15 – Módulos a bordo do Nodemcu (adaptado do Google) . . . . .	41
Figura 16 – Fluxograma do Software . . . . .	42
Figura 17 – Eletrodo em sua solução de armazenamento . . . . .	45
Figura 18 – Gráfico de Leituras - Solução pH 7 . . . . .	46
Figura 19 – Gráfico de Leituras - Solução pH 10 . . . . .	46
Figura 20 – Gráfico de Leituras - Solução pH 4 . . . . .	47
Figura 21 – Gráfico de Leituras - Água do Rio Paraíba . . . . .	48
Figura 22 – Gráfico de Leituras - Água do Rio Paraíba sensor industrial . . . . .	48
Figura 23 – Visão lateral do Bell Jar com o seu suporte e seu calço . . . . .	49
Figura 24 – Bell jar e calço acoplados . . . . .	50
Figura 25 – Estrutura de tudo de PVC . . . . .	51
Figura 26 – Bell Jar vista superior . . . . .	52
Figura 27 – Filtro com os componentes eletrônicos dentro . . . . .	52
Figura 28 – Tampa do Filtro com o cabeamento passado . . . . .	53
Figura 29 – Bell jar submerso 1 . . . . .	53
Figura 30 – Bell jar submerso 2 . . . . .	53
Figura 31 – Prova de Campo medindo pH da Lagoa . . . . .	54
Figura 32 – Gráfico da alteração do pH por adição de ácido acético . . . . .	55

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Tabela de componentes eletrônicos usados neste projeto . . . . .	25
Tabela 2 – Valores das medições com a sonda de pH . . . . .	36
Tabela 3 – Valor Padrão, Média Geométrica e Erro Absoluto e Erro Relativo . . . . .	36
Tabela 4 – Sonda Padrão x Sonda do Trabalho . . . . .	37
Tabela 5 – Valores de pH x Tensão . . . . .	37

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADC	Conversor Analógico Digital
AmpOp	Amplificador Operacional
Arduino IDE	Ambiente de Desenvolvimento Integrado do Arduino
Arquitetura RISC	Computador com um conjunto reduzido de instruções
BNC	Conector Bayonet Neill Concelman
cabo PP	Duas capas de PVC uma por dentro da outra
CSV	Arquivo com valores separados por vírgula (Comma-Separated Values)
dm	Decímetro
Do pin	Saída digital
Eh	Potencial Redox
I2C	Protocolo de comunicação entre dispositivos / Inter-Integrated Circuit
IFF	Instituto Federal Fluminense
IHM	Interface Homem-Máquina
Kb	Kilobite
l	Litro
m	Metro
Mb	Megabite
MG	Média geral
MHz	Mega Hertz
ml	Mililitro
Ohm	Unidade de medida da resistência
OTA	Over the Air
PCB	Printed Circuit Board / Placa de circuito impresso
PVC	Policloreto de vinila

PWM	Pulse Width Modulation
RTC	Real Time Clock
SD Card	Secure Digital Card
SPI	Serial Peripheral Interface
USB	Universal Serial Bus
V	Volts
Vcc	Tensão de corrente contínua
Vdc	Tensão de corrente alternada

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO . . . . .</b>	<b>14</b>
<b>1.1</b>	<b>Tema e Justificativa . . . . .</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos . . . . .</b>	<b>19</b>
1.2.1	Objetivo Geral . . . . .	19
1.2.2	Objetivos Específicos . . . . .	19
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>2.1</b>	<b>O uso de Câmaras <i>Bell Jar</i> . . . . .</b>	<b>20</b>
<b>2.2</b>	<b>Automação em Sistemas de Monitoramento Ambiental . . . . .</b>	<b>21</b>
<b>3</b>	<b>PESQUISA E DESENVOLVIMENTO . . . . .</b>	<b>24</b>
<b>3.1</b>	<b>Desenvolvimento . . . . .</b>	<b>25</b>
3.1.1	Kit de Desenvolvimento ESP8266 . . . . .	27
3.1.2	Tratamento do Sinal Analógico . . . . .	28
3.1.3	RTC - <i>Real Time Clock</i> . . . . .	31
3.1.4	Cartão de Memória . . . . .	33
3.1.5	Sonda de pH . . . . .	33
3.1.6	Montagem do Circuito Eletrônico . . . . .	38
<b>3.2</b>	<b>Software . . . . .</b>	<b>41</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADO E DISCUSSÃO . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>4.1</b>	<b>Testes de Laboratório . . . . .</b>	<b>44</b>
<b>4.2</b>	<b>Bell jar . . . . .</b>	<b>49</b>
<b>5</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS . . . . .</b>	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>Trabalhos futuros . . . . .</b>	<b>57</b>
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS . . . . .</b>	<b>58</b>
	<b>APÊNDICES</b>	<b>62</b>
	<b>APÊNDICE A – CÓDIGO . . . . .</b>	<b>63</b>

<b>ANEXOS</b>	<b>74</b>
<b>ANEXO A – DATASHEET ESQUEMÁTICO NODEMCU . . . . .</b>	<b>75</b>
<b>ANEXO B – DATASHEET SENSOR DE PH - SEN0161 . . . . .</b>	<b>76</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O estudo de sedimentos em ambientes lagunares, tanto dulcícola, salobras e salgadas, têm sido motivos de estudos decorrentes e não recentes, como por exemplo o trabalho desenvolvido por Graneli (1977) que efetuou a medição do consumo de oxigênio nos sedimentos usando testemunhos de sedimentos inalterados.

Com a importância do estudo sobre os sedimentos lagunares, variados métodos para avaliação têm surgido a cada dia e a grande maioria são fundamentados no estudo da composição química, outro no processo de formação dos sedimentos e assim por diante. Os trabalhos mais importantes a citar são: Graneli (1977), Lerman (1978), Bottomley e Bayly (1984), Balzer (1984), Howes, Dacey e Wakeham (1985), Enell e Löfgren (1988), Klump e Martens (1981), Carmouze (1994), Boynton et al. (1981), Hall, Tempel e Peterson (1979) e Knoppers et al. (1996). Nos próximos parágrafos será demonstrado brevemente a importância de cada trabalho e suas metodologias.

O interesse em estudar os sedimentos é importante para esclarecer aspectos geoquímicos, geofísicos e microbiológicos. Neles a água intersticial, presente nos poros dos sedimentos, é importante para os processos geoquímicos relacionados aos metais pesados, nutrientes e matéria orgânica, principalmente os ácidos húmicos e fúlvicos. Através de todos estes componentes que pode se realizar análises para as três áreas citadas acima (ARATO et al., 2014).

Para a microbiologia, o esgotamento de oxigênio na água intersticial pode indicar a respiração de microrganismos no sedimento, a respiração diz o quão rápido eles estão trabalhando. Desta forma, o quão rápido eles estão transformando o material orgânico no fundo dos ambientes lagunares de volta em material inorgânico. Os resultados obtidos das análises geoquímicas dos sedimentos possibilitam a investigação das reações químicas de controle e os fluxos de elementos durante a troca de cátions e ânions de elementos menores com os compartimentos (LINDSAY et al., 2011).

A água intersticial é a água que envolve os grãos de sedimentos (BERRÊDO et al., 2008). Para a mineralogia é importante, pois é nesse microambiente de oceano que ocorre toda a ação de precipitação e dissolução de minerais. Medindo a composição da água intersticial e comparando-a com a concentração dos elementos presentes nos sedimentos, pode revelar dados sobre o metabolismo microbiano e as reações causadas pelas mudanças de temperatura e pressão no sedimento ao longo do tempo.

Segundo Lerman (1978) a interface sedimento-água é formada por três razões diferentes: depósito de sedimentos, crescimento da coluna sedimento-poro-água e difusão nas águas dos poros. Sabe-se que a regeneração de materiais biogênicos na interface sedimento-água pode afetar significativamente a composição química da água sobreposta. Esta água pode ser prejudicial ao meio ambiente quando quantidades relativamente grandes de material se dissolvem, oxidam ou decaem em um volume relativamente pequeno de água, como em lagos eutróficos sazonalmente estratificados.

As metodologias são diversas para poder estudar porções específicas dos sedimentos e o que esta porção significa para o ambiente. Bottomley e Bayly (1984) empregaram a técnica de diálise para a medição *in situ* de gradientes (horizontais e verticais) de concentração de nutrientes dissolvidos em zonas de raiz de macrófitas. Carignan, Rapin e Tessier (1985) discute a absorção de fosfato pelas raízes e seu crescimento, teve o trabalho complementado pelo trabalho de Bottomley.

Balzer (1984) utilizou de duas metodologias para demonstrar a degradação bentônica da matéria orgânica (demanda bioquímica de oxigênio) e o ciclo de seus componentes carbono, nitrogênio e fósforo. Os sedimentos eram retirados por mergulhadores através de tubos de acrílico e levados para a superfície para análises. Outro método foi com o uso do bell jar realizando medições de potencial de oxi-redução (Eh), pH, oxigênio e temperatura para investigar os processos de decomposição e trocas. Já Carignan, Rapin e Tessier (1985) serviram-se de técnicas laboratoriais como centrífuga e filtramento por membrana, com o intuito de ver qual técnica era mais adequada para análise de metais (Ca, Mg, Fe, Mn, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Cd) presente em amostras de sedimentos.

Preocupado em como melhorar a amostragem Howes, Dacey e Wakeham (1985) em seu trabalho demonstra os efeitos da técnica de amostragem, examinando o efeito de três métodos de extração de água de nascente, demonstrando que a coleta *in situ* seria a mais apropriada, uma vez que este tipo de amostragem minimiza a perturbação do sedimento e também evita a oxidação dos constituintes. Enell e Löfgren (1988) demonstram que até as precipitações pode influenciar na amostragem, por isso trabalhos como o de Klump e Martens (1989), onde é realizado uma modelagem matemática dos ciclos sazonais em distribuições de água porosa e sua concentração de amônio dissolvido, fosfato, carbono inorgânico total e sulfato em resposta à dependência da temperatura, mostra-se importante.

A grande maioria dos estudos são realizados em sistemas *in vitro* que se refere ao que é feito fora de um organismo vivo, Carmouze et al. (1997) desenvolveu um simples amostrador *in*

*situ* versátil para extrair água intersticial dos sedimentos. O tempo de contato com o sedimento foi reduzido em 50% comparado com o com o sistema anterior e que possibilitaria uma taxa mais alta de amostragem.

Todavia, as técnicas *in vitro* enfrentam diversos problemas e um alto valor para serem feitas. As dificuldades passam por volumes pequenos de amostras e também pelos laboratórios que quase nunca, quando se fala de natureza, conseguem reproduzir de forma exata ou parecida as condições encontradas *in loco*.

Por isso, torna-se necessário o desenvolvimento de outros métodos ou de outras metodologias de estudo e monitoramento do meio ambiente, como a utilização de Incubadores ou Câmaras Bentônicas *in situ*.



Figura 1 – Uso do bell jar *in situ*

O uso do *bell jar* pode ter diversas finalidades. Balzer (1984) faz uso do *bell jar* para estudo do processo de decomposição dos sedimentos, Boynton et al. (1981) investigou a relação entre a taxa de circulação da água e a respiração da comunidade bentônica usando bell jar equipados apenas com bombas de velocidade variável, Hall, Tempel e Peterson (1979) projetaram uma câmara que possuía características de simulação para que as condições chegassem próximas as condições em um ambiente altamente metabólico e assim poder estudar as variações sazonais e suas influências, Knoppers et al. (1996) fez uso do *bell jar* para estudar os fluxos bentônicos de oxigênio e nutrientes, Machado e Knoppers (1988) fez o estudo do consumo de oxigênio

sedimentar através do uso do *bell jar*.

A regeneração dos nutrientes nos sedimentos é particularmente importante nos ambientes costeiros pouco profundos. Pois, a carga orgânica sedimentar é elevada e a sua mineralização pode representar uma fonte substancial de nutrientes para produção primária na coluna d'água (KLUMP; MARTENS, 1981).

O estudo do meio ambiente é feito através do tempo e suas modificações no meio ambiente, o monitoramento ambiental se torna a chave para poder entender melhor os processos e suas interligações. Com o monitoramento ambiental pode se acumular uma grande quantidade de dados confiáveis. Os dados provenientes das amostras realizadas pelos métodos supracitados é que é possível a derivação do conhecimento e a observação (ARTIOLA; PEPPER; BRUSSEAU, 2004). A medição dos parâmetros determinados é essencial para um melhor entendimento de processos e ciclos geoquímicos de nutrientes (ACEVEDO, 2015).

O uso de automação em sistemas de monitoramento ambiental vem crescendo nos últimos anos, devido aos recursos que vêm se tornando cada vez mais acessíveis. Houve uma melhoria significativa no processo de fabricação o que acarretou na queda dos preços de componentes eletrônicos, surgindo assim a possibilidade de desenvolvimento de equipamentos para monitoramento mais confiáveis, mais acessíveis financeiramente e diversas outras vantagens. Os instrumentos baseados em eletrônica permitem a implementação e operação autônoma de longo prazo, habilitando a coleta de dados ambientais durante o processo que está sendo observado (BROWN; MUSIL, 2004).

O uso do método com incubadoras *in situ* se demonstra um processo trabalhoso, dispendioso e oneroso, porém é o método no qual simula o mais próximo possível da realidade. Entre os contras do uso desta metodologia, destaca-se:

1. Trabalhoso devido as diversas sessões de mergulho para agitação da água dentro da câmara e retirada das amostra;
2. Dispendioso, pois, as sessões de agitação são, geralmente, de duas em duas horas e a coleta de dados a cada seis horas;
3. Oneroso, pois precisa que o pesquisadores fiquem o tempo todo no local para realizar as atividades.

Por isso o processo de automatização de todo este processo é importante, pois ajuda este tipo de pesquisa a ser menos dispendiosa, coletar dados de forma mais precisa e o processo ficar

mais confiável.

## 1.1 Tema e Justificativa

Este projeto de trabalho técnico/científico está vinculado ao tema de *Desenvolvimento de sistema de monitoramento de qualidade e quantidade dos recursos hídricos*, o qual é vinculado à linha de pesquisa em *Gerenciamento de Recursos Hídricos*.

Estudos que visam o monitoramento dos corpos hídricos, possuem o foco em estratégias de monitoramento, requisitos para dados de qualidade e quantidade de água e técnicas interpretativas, como o trabalho de Chapman (2002). Strobl e Robillard (2008) realizaram uma revisão sobre a aplicação de rede de sensores para monitoramento de corpos hídricos e como a má aplicação da rede pode interferir no corpo hídrico. Estes trabalhos mostram a dificuldade de amostragem, na qual é estabelecida à fatores: de dificuldade de coleta/medição *in situ*, custo relacionado aos sistemas atuais de sondagem, etc.

Conforme Murphy et al. (2015), a natureza de baixo custo de um dispositivo de monitoramento permite que vários sensores possam ser implantados em uma grande área, com alta densidade espacial. Desta forma, com vários sensores o número de amostras se torna maior, com um conjunto de dados maior, melhor é a análise. Alternativamente, os eventos detectados por uma rede desses sensores poderiam informar a localização e o momento de cada amostragem para a análise dos dados.

O principal questionamento que esta pesquisa pretende responder é: Qual a viabilidade da construção de uma eletrônica embarcada flexível e automatizada acoplada a um sistema *Bell Jar*. Para isso, as características deveriam ser o baixo custo, uso de materiais de fácil acesso, ser escalável e que tenha uma confiabilidade importante.

A plataforma deve conter sistemas embarcados para medição e transmissão automática de dados ambientais, de forma a atender as necessidades relacionadas à pesquisa sobre interface de sedimentos, influência de cultivos de frutos do mar, metabolismo bentônico, organismo bentônico e etc. presentes em ambientes marinhos, salobros ou dulcícolas.

## 1.2 Objetivos

### 1.2.1 Objetivo Geral

Desenvolver um sistema eletrônico embarcado, baseado em arquitetura microcontrolada, que seja customizável para coleta automática de dados geoquímicos de reservatórios de baixa energia e lagoas costeiras acoplado a uma câmara bentônica.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver o sistema microcontrolado a ser embarcado a estrutura do bell jar;
- Desenvolver o algoritmo para a automatização de coleta de dados, armazenamento, registro de data e hora e um servidor web para acesso aos dados de monitoramento via dispositivos móveis;
- Desenvolver o sistema de encapsulamento do sistema eletrônico para imersão e alimentação em 12v;
- Realizar teste hidrodinâmico *in situ* e obter o registro dos sensores instalados;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 O uso de Câmaras *Bell Jar*

O *Bell Jar* pode ter diferentes formatos e diversas aplicações, a revisão bibliográfica foi realizada para levantar as utilizações do *Bell Jar* e, também, fundamentar que poucos estudos foram realizados para tornar o sistema incluído no *Bell Jar* autônomo ou automatizado. O processo de automatização é o objetivo deste trabalho.

No trabalho desenvolvido por Agawin et al. (2017) foi usado um *Bell Jar* para fazer uma análise espacial e temporal das atividades de fixação de nitrogênio das *Possidônias Oceânicas*, que é uma espécie de erva marinha endêmica do Mar Mediterrâneo.

Foram realizadas seis medições representando as quatro estações do ano, porém com duas medições no verão e na primavera, com a profundidade de 4m. As amostras de 100 - 125ml de água foram retiradas de 10 cm abaixo da superfície do sedimento com seringas de 10 ml. As amostras eram manipuladas e analisadas em sua composição de: temperatura, salinidade, concentração de nutrientes inorgânicos dissolvidos, nitrato ( $NO_3^-$ ), nitrito ( $NO_2^-$ ), amônio ( $NH_4^+$ ), fosfato ( $PO_4^{3-}$ ) e fósforo total dissolvido (TDP).

O formato das câmaras *Bell Jar* era cilíndrico e composto por duas partes, a primeira parte feita de plástico rígido de cloreto de polivinil com extremidades serrilhadas para facilitar a inserção no sedimento e a parte dois, que ficaria situada na parte superior e sendo feita acrílico cilíndrico com uma tampa no topo com um agitador manual metálico, portas para injeção de acetileno e para extração da amostra.

No trabalho realizado por Filho, Oliveira e Manzoni (2010), o uso do *Bell Jar* foi para realizar uma avaliação do metabolismo bentônico e a regeneração de nutrientes nos sedimentos sob uma região de cultivo de moluscos. As amostras eram colhidas três vezes, na hora da instalação do equipamento, doze horas após a instalação e na hora da retirada do equipamento que acontecera doze horas após a segunda coleta, ou seja, foram realizadas três coletas dentro de 24 horas.

As coletas eram realizadas através de válvulas na qual era feita a retirada das amostras do interior do *Bell Jar* com a utilização de seringas de 50 ml, cada amostra era composta por um volume de 350 ml.

Os parâmetros medidos após a retirada da amostragem eram: Salinidade, temperatura, oxigênio dissolvido ( $O_2$ ), pH e alcalinidade. Em laboratório as análises determinavam a dissolvição dos nutrientes inorgânicos  $NO_3^-$ ,  $NO_2^-$ ,  $NH_4^+$ ,  $PO_4^{3-}$ , entre os elementos biogênicos eram determinados: NOP; NOD; NOT; POP; POD; POT; COP.

O *Bell Jar* possuía forma de uma semiesfera com 65 cm de diâmetro, de acrílico, possibilitando o isolamento de 72 l sobre uma área de sedimento com  $0,33m^2$ . O sistema era composto por uma bomba para fazer a circulação da água e válvulas de admissão e para retirada de água.

O trabalho realizado por Freitas et al. (2008), visava identificar a influência do cultivo de camarão sobre o metabolismo bentônico e a qualidade da água, para isso ele usou o *Bell Jar* em formato de semiesfera com diâmetro de 40 cm e confeccionadas em acrílico transparente e também outras em preto. As câmaras isolavam aproximadamente 16,7 L sobre uma área de  $0,125m^2$  e dispunham de um agitador manual no topo da redoma e também válvulas, com controle de fechamento e abertura.

A amostragem foi realizada durante duas campanhas, a primeira realizada antes do povoamento com as pós-larvas e a segunda realizada três dias antes da despesca, a primeira campanha funcionando como referência para comparação com a segunda, após um ciclo de cultivo. Os nutrientes observados foram: nitrogênio amoniacal total, nitrito, nitrato fosfato e silicato, oxigênio dissolvido, pH, temperatura, salinidade e clorofila tipo a.

O tempo total das incubações foi de 24 horas, com as coletas realizadas por seringas de 60 ml, através das válvulas de controle de entrada e saída, a cada duas horas a água dentro da câmara era homogeneizada através do agitador e a retirada com a seringa a cada 6 horas.

## 2.2 Automação em Sistemas de Monitoramento Ambiental

A Automação está intimamente relacionada com controladores, sejam eles industriais sejam eles microcontroladores.

O monitoramento ambiental de acordo com Lovett et al. (2007) é uma série temporal de medições de variáveis físicas, químicas e biológicas, podendo ser de um ponto específico ou de múltiplos pontos. Lovett mostra que o monitoramento é uma parte crucial da ciência ambiental, custa muito pouco em relação ao valor dos recursos que protege e da política que informa, contando ainda que os dados obtidos podem ser usados para múltiplos propósitos.

O monitoramento ambiental pode gerar dados importantes dados para que se possa entender as relações entre as diversas variáveis, a busca de padrões entre elas, entendimento de panoramas futuros e como modifica-los visando a preservação dos ecossistemas e sobrevivência da vida na Terra, como por exemplo os ciclos biogeoquímicos que são resultados de múltiplos ciclos de interações (ARTIOLA; PEPPER; BRUSSEAU, 2004).

Alguns pontos devem ser considerados quanto ao monitoramento ambiental: os programas de monitoramento devem abordar questões claras, usar métodos consistentes e aceitos para

produzir dados de alta qualidade, quando o programa de monitoramento ambiental é bem realizado, este pode incluir provisões para gerenciamento e acessibilidade, amostras / dados e integrar o monitoramento em programas de pesquisas que promovam o exame contínuo e o uso dos dados.

No início do monitoramento ambiental e por durante alguns anos, os sinais que eram enviados dos transdutores eram monitorados com gravadores de gráficos analógicos que, por sua vez, forneciam um registro contínuo dos parâmetros em questão. Com o advento da tecnologia os componentes eletrônicos começaram a ganhar destaque, a eletrônica permitiu o desenvolvimento de equipamentos mais confiáveis, mais acessíveis financeiramente e diversas outras vantagens. Os instrumentos baseados em eletrônica permitiram a implementação e operação autônoma de longo prazo, o que habilitou a coleta de dados ambientais durante o processo que estava sendo observado.

Em Artiola e Warrick (2004) é dado um exemplo de como a amostragem deve ser feita e o porquê de ser tão importante a escolha da amostragem. O exemplo é referente a taxa de degradação de um pesticida no solo, para proteção do lençol freático da região. O pesticida tem a semivida estimada (tempo estimado que a concentração química diminua em 50%) em 6 meses, logo, poderia ser suficiente uma coleta de amostras do solo a cada 3 meses em 2 a 3 anos para monitorar e quantificar as taxas de degradação. Contudo, se a meia vida do pesticida for mais próxima de 30 dias no ambiente do solo, então a amostragem semanal por até 6 meses pode ser necessária para obter resultados úteis. Justamente por isso, a quantidade de amostras é importante bem como o tempo de amostra.

A automação em sistemas de monitoramento ambiental é uma área muito grande e que vem crescendo de forma exponencial, pois o monitoramento ambiental possui diversas subáreas: agricultura de precisão, estudos de corpos hídricos (qualidade da água, comportamento do corpo hídrico, eutrofização, etc.), poluição do ar, etc.

No trabalho feito por Mondal, Misra e Bose (2017) foi realizado a construção de um sistema para o uso em agricultura de precisão, onde a proposta do trabalho foi de construir um sistema de baixo custo e para gerenciamento de água que já era escassa na região. Para realizar o gerenciamento de água, utilizaram-se do sensor de umidade do solo e de acordo com as leituras de umidade o sistema seria capaz de realizar a irrigação ou não e, também, a quantidade de água a se usar autonomamente. Para o desenvolvimento do sistema foi utilizado o Raspberry Pi, como computador central.

Karimi et al. (2018) apresentou um trabalho cujo o objetivo foi de melhorar a qualidade e produtividade das vinícolas no Azerbaijão com um sistema capaz de auxiliar o gerenciamento

de toda produção de uva e de uva passas. Nas vinícolas os parâmetros mais importantes a serem monitorados são: temperatura, umidade relativa do ar, umidade do solo, dióxido de enxofre e pH do solo. Com estes dados em mãos os fazendeiros puderam acompanhar a condição e a progressão. De posse dos dados foi possível ter um banco de dados e usa-los como suporte para tomada de decisões e ações. Dentro das vinícolas existem problemas referentes a insetos, neste caso grilos e cigarras, para combatê-los foi utilizado sensores de barulho que captasse as frequências de canto de cigarras e grilos, assim, podendo combater-los.

O sistema foi montado usando um computador como central e os módulos com sensores ligados a este computador, por sua vez, o computador fez a interface com a web para acessos via dispositivos com acesso à internet, IHM e banco de dados. O projeto demonstrou utilidade para aumentar a qualidade e produtividade de uvas e passas, foi muito bem recebido pelos proprietários das vinícolas, pois auxiliou nas: demandas de nutrição, duração e frequência da irrigação e alertas de insetos predatórios.

Outro exemplo de monitoramento ambiental, porém, visando a qualidade do ar foi feito pela Silva (2018). Neste trabalho foi desenvolvido uma plataforma microcontrolada e conectada a diversos sensores: sensor de ozônio, monóxido de carbono, material particulado, etc. o sistema deveria fazer as leituras e então, analisar os dados através de uma rede neural e, assim, realizar uma previsão na qualidade do ar, além do monitoramento do mesmo.

Existem problemas nos quais são enfrentando hoje que nunca foram abordados no passado evolutivo, tão logo existem diferentes perspectivas e grandes incertezas de como lidar ou enfrentar essas questões (GLYNN et al., 2017).

A fim de desenvolver e implementar um efetivo monitoramento ambiental e programas de restauração, é necessário compreender os principais processos físicos, químico e biológicos operacionais no local e caracterizar a natureza e a extensão do problema. Esta informação é recolhida com atividades de monitoramento ambiental.

A revisão bibliográfica foi dividida em duas partes. A primeira mostrando trabalhos referentes ao uso da câmara bentônica e a segunda parte é caracterizada pela introdução da automação no monitoramento ambiental. Na presente data, não há trabalhos relativos ao desenvolvimento da eletrônica para medição e armazenamento automático das amostras acoplado há uma câmara bentônica. Devido a estes fatos, o sistema proposto irá fazer a interseção entre os dois assuntos: câmaras bentônicas e sistemas automatizados de monitoramento ambiental.

### 3 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO

A primeira etapa da metodologia consistiu em uma pesquisa bibliográfica, relacionada a propostas inovadoras, destinadas aos seguintes objetivos: câmaras bentônicas, construção de sistemas embarcados para o monitoramento hídrico e de técnicas para medição de parâmetros ambientais. Ainda nesta fase, foi realizada uma pesquisa sobre características de hardware disponíveis no mercado, seleção dos componentes eletrônicos e da linguagem de programação mais adequados.

A elicitação de requisitos foi a segunda fase do projeto e é de onde foram extraídas informações do orientador sobre o que seria construído. É a fase em que se entende as necessidades do sistema e as características que esse sistema deve ter: funcionalidades, restrições, usabilidade do software, e assim por diante.

Foi realizado duas elicitações de requisito entre o orientador e orientando. A primeira foi referente ao projeto e as especificações foram: [1] baixo custo, [2] baixo consumo de energia, [3] autônomo e [4] possibilidade de expansão para acréscimo de novos sensores. Já a segunda elicitação foi relacionada ao sistema, leia-se algoritmo, programação, etc.

O sistema deveria relacionar as leituras de pH e temperatura e indicar o pH aproximado, pois de acordo com Maia e Maia (2005) as duas grandezas interagem. Os dados obtidos deveriam ser guardados em cartão de memória e com *timestamp* para poder traçar uma linha do tempo. Para fazer a circulação de água dentro do bell jar seria usado uma bomba centrífuga. O sistema deveria funcionar submerso durante uma campanha de 24 horas e coletas de dados a cada 8 horas, a partir daí as fases seguintes foram:

1. Aquisição dos componentes;
2. Montagem do protótipo do sistema embarcado;
3. Testes do sistema embarcado preliminares;
4. Testes do encapsulamento mecânico contra a entrada de água;
5. Encapsulamento do sistema embarcado;
6. Testes finais;

Para a primeira fase, aquisição de componentes, a ideia principal foi utilizar o que se tinha em mãos e que tivesse um bom custo. Na Tabela 1, a seguir, pode se observar a lista de material eletrônico usado.

Tabela 1 – Tabela de componentes eletrônicos usados neste projeto

<b>Descrição</b>	<b>Propriedade</b>	<b>Qtd.</b>
LM2596	Regulador de Tensão	1
Diodo	1n4148	2
DS18B20	Sensor de Temperatura	1
Terminal de Conexão	Borne de PCB 2 pinos	9
Nodemcu V3.0	Microcontrolador	1
4.7 k $\Omega$ Resistor	Resistor	1
100 $\Omega$ Resistor	Resistor	1
390 k $\Omega$ Resistor	Resistor	1
220 k $\Omega$ Resistor	Resistor	1
DS3231	Módulo RTC	1
PH meter	Sensor de pH	1
MicroSD Card Module	Módulo do Cartão de Memória	1
LM358	Amplificador operacional	1
Bomba	Bomba Centrífuga 12V	1
Fonte DC	Tensão 12 V	1

Os testes foram executados em laboratório, confrontando as medições realizadas pelo dispositivo, a amostras de referência. As atividades relativas à construção foram desenvolvidas nos laboratórios do Polo de Inovação do IFF - CAMPUS CAMPOS CENTRO.

A fase final envolveu a realização dos testes de desempenho na lagoa de Travessão, a qual está localizada no município de Campos dos Goytacazes, e faz parte da Bacia Hidrográfica do Rio Paraíba do Sul.

A pesquisa caracteriza-se como uma pesquisa aplicada, pois materializa os conhecimentos uma aplicação específica, envolvendo o desenvolvimento, a prática construtiva e a utilização do produto.

### 3.1 Desenvolvimento

O primeiro componente a ser escolhido de acordo com os requisitos foi o microcontrolador. Os micro controladores ocupam hoje uma posição de destaque consistindo no “cérebro” dos circuitos, pois eles reúnem as funções de inteligência, memória e controle num espaço muito

pequeno.

Os microcontroladores reúnem uma infinidade de características e comportamentos sendo muito mais que simples componentes, podendo ser encontrados numa grande variedade de tipos e formas que se diferenciam pelo atuação e empregabilidade.

Os microcontroladores possuem aparência de um circuito integrado (figura 2), contudo cada tipo de circuito integrado exerce uma função única que é determinada pela disposição dos componentes no seu interior e suas interligações no momento em que são fabricados.

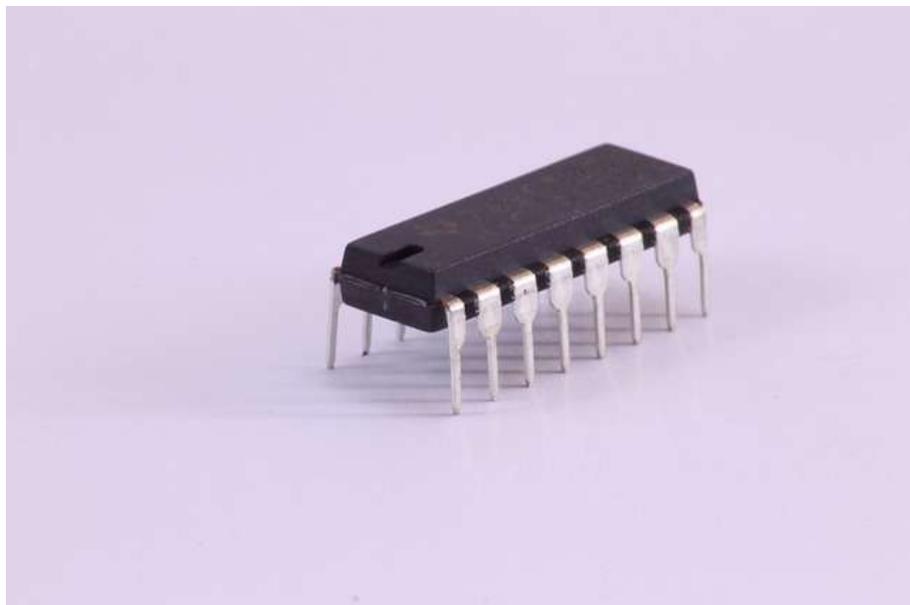


Figura 2 – Microcontrolador - aparência de um circuito integrado

A ideia do microcontrolador é um pouco diferente. Fabricar em um único chip um conjunto de circuitos que permitam a sua programação para realizar algum tipo de função. A ideia não é nova. Tendo surgido diversas famílias de microcontroladores desde seu advento, cada uma com recursos que dependem de seu fabricante e da finalidade a que se destinam.

No entanto, esses microcontroladores para poderem ser usados e programados precisam ser montados em placas apropriadas e a sua programação se faz com a conexão em um computador. Da mesma forma, a placa também prevê sua ligação aos circuitos que devem controlar e aos circuitos que vão fornecer as informações para o controle, tais como sensores, chaves, teclados externos, etc.

Com efeito o uso de um microcontrolador desta forma pode não ser acessível, pois exige a elaboração da placa, podendo trazer um conjunto de complicações, principalmente os tipos que

se montam em superfície e tamanhos reduzidos. Este tipo de microcontrolador, com invólucro reduzido, se destina muito mais a aplicações industriais ou placas prontas ou ainda em quando os circuitos em que eles vão ser usados são montadas por máquinas.

Uma forma mais simples do uso do microcontrolador, principalmente em projetos experimentais, com finalidades didáticas ou aplicações isoladas, que é o caso deste projeto, é através de placas prontas.

As placas prontas já possuem microcontroladores instalados e possuem todos os recursos para a entrada de programação através de um simples cabo e dotados de conectores para se ligar os circuitos que devem ser controlados.

Estas placas, também conhecidas como kit de desenvolvimento, em muitos casos possuem ainda um circuito de alimentação próprio de modo que a aplicação externa pode ser feita por uma boa faixa de tensão.

### 3.1.1 Kit de Desenvolvimento ESP8266

Para este projeto foi escolhido o kit de desenvolvimento ESP8266 (figura 3), também conhecido como Nodemcu, devido as suas características se encaixarem na proposta do sistema.



Figura 3 – Nodemcu

O Nodeccu possui características singulares: baixo custo, suporte integrado a redes WiFi, tamanho reduzido, baixo consumo de energia, além de ser uma plataforma *open source* da família ESP82660. Como características físicas destaca-se: conversor USB serial externo para que haja troca de informações entre computador e o módulo. O Nodemcu é composto basicamente por um microcontrolador (ESP8266-12E), um porta micro USB para alimentação e programação, um conversor USB serial integrado e já possui WiFi nativo.

Segundo o *datasheet* do fabricante o processador pode atuar em 80 ou 160 MHz, arquitetura RISC de 32 bits, 4 Mb de memória flash, 64 Kb para instruções, 96 Kb para dados, WiFi nativo padrão 802.11b/g/n, opera em modo de ponto de acesso, estação ou ponto de acesso + estação. Sua alimentação é de 5 Vdc através do conector micro USB, 11 pinos digitais (entrada ou saída), possui 1 pino analógico com resolução de 10 bits, os pinos digitais possuem interrupção. Suas conexões e protocolos são: PWM, I2C e One Wire, com os pinos operando em nível lógico de 3.3 Vdc.

Embora o Nodemcu tenha algumas IDEs para sua programação (Nodemcu WebIDE, Nodemcu Tool CLI, Nodemcu Flasher, etc) foi escolhida a IDE do Arduino pela afinidade com esta ferramenta. A programação pode se dar via USB ou WiFi(OTA).

### 3.1.2 Tratamento do Sinal Analógico

A porta A0 do Nodemcu funciona, neste projeto, como uma entrada analógica e possui particularidades que tornam o seu uso um desafio. O Nodemcu possui um conversor analógico digital (ADC) de 10 bits com tensão máxima de 1V.

O Nodemcu já conta com um atenuador de sinais através de um divisor resistivo, que condiciona tensões entre 0 e 3,3V ao nível do ADC de 0 a 1,0V. Segundo o esquemático da placa, os resistores tem valor de 220 k $\Omega$  e 100 k $\Omega$  respectivamente, conforme pode ser visto na figura 4.

A maioria dos sensores analógicos ou os sensores analógicos mais tradicionais são projetados para trabalhar com 5V e com saídas analógicas também de 0 a 5V. No caso deste projeto o sensor de pH trabalha com saídas de 0 a 5V. Ou seja, foi necessário condicionar a saída do sensor de pH de 0 a 5V para 0 a 3,3V e, posteriormente, o próprio Nodemcu condiciona novamente de 0 a 3,3V para 0 a 1V.

O método utilizado para realizar o condicionamento do sinal foi o divisor resistivo devido ao seu custo, facilidade de implementação, sua confiabilidade e também por interferir nas

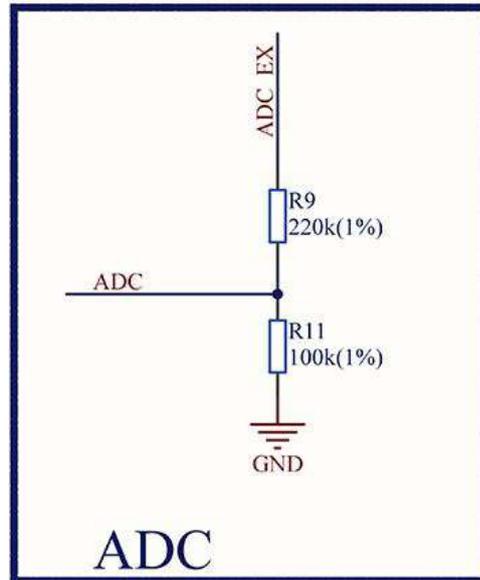
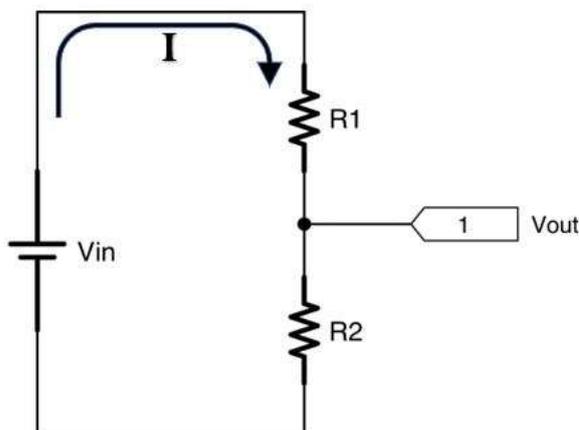


Figura 4 – Divisor Resistivo - Anexo A

características do sinal analógico, não adicionando ruído e não distorcendo a forma da onda.

O divisor resistivo é formado pela associação de pelo menos dois resistores em série, onde de acordo com a relação entre suas resistências é possível se obter um sinal de saída menor e proporcional ao sinal analógico original. Para chegar aos valores dos resistores basta saber o valor da tensão de entrada (que no caso deste projeto é de 5V), o valor desejado para a saída (no caso deste projeto é de 3,3V) e escolher o valor do  $R_1$  de acordo com os valores comerciais de resistores.

Recomenda-se que a soma dos resistores usados seja maior que 10 k $\Omega$ , pois isso diminuirá o consumo e a dissipação térmica (GUSSOW, 2009).



$$I = \frac{V_{in}}{R_{eq}} = \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (1)$$

$$V_1 = R_1 \times I \therefore R_1 \times \frac{V_{in}}{R_1 + R_2} \quad (2)$$

$$V_{out} = V_2 \quad (3)$$

$$V_{out} = R_2 \times I \therefore V_{in} \times \frac{R_2}{R_1 + R_2} \quad (4)$$

Apesar das características positivas citadas, o método do divisor resistivo possui contraposições, a maior delas é o casamento de impedância. No caso do projeto desta dissertação, devido à falta de documentação sobre a impedância de saída do pH, creditou-se o valor de  $1\text{ k}\Omega$  que é um valor considerado alto.

O problema que acarreta a falta do casamento de impedância. Antes de conectar a entrada analógica a tensão estará nos níveis esperados, ao conectar a tensão cairá devido a interação entre os circuitos e ao efeito de carga do segundo divisor de tensão. As figuras 5 e 6, foram capturadas da simulação.

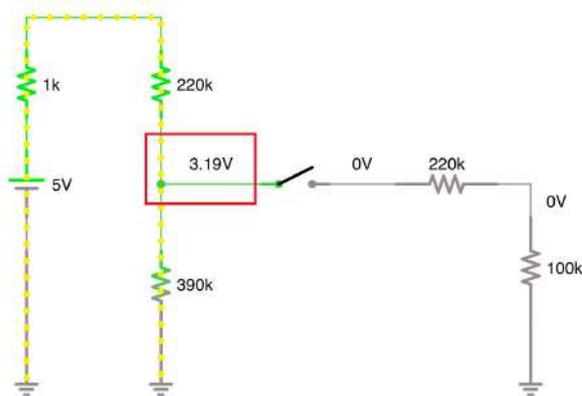


Figura 5 – Antes de Conectar ao ADC

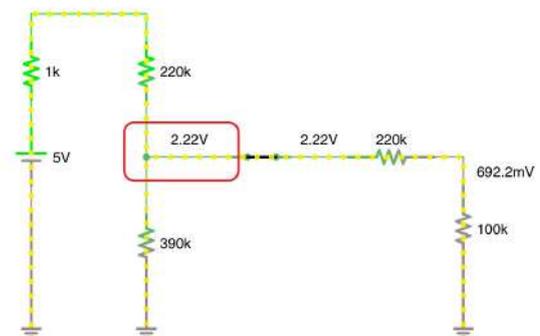


Figura 6 – Depois de conectar ao ADC

Para corrigir o problema apresentado foi utilizado um *Buffer* feito com amplificador operacional, que nada mais é que um amplificador de ganho unitário usado para isolar e conectar um estágio de alta impedância de entrada a uma carga de baixa impedância de saída.

O *buffer* feito com amplificador operacional (figura 7) é de ganho unitário, não fornece ganho de tensão, porém o amplificador operacional (AmpOp) pode fornecer corrente infinitamente (dentro de suas limitações), já que possui impedância de saída nula (JR, 2015).

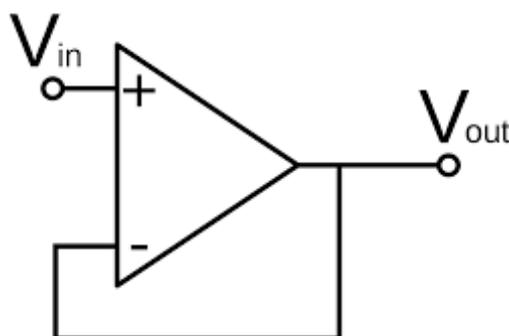


Figura 7 – AmpOp Seguidor de Tensão

Uma das limitações dos AmpOps é que nem todos os modelos funcionam bem sem alimentação simétrica (positiva e negativa). Ao mesmo tempo essa é uma limitação da maioria dos projetos envolvendo microcontroladores em geral, já que estes utilizam apenas alimentações positiva (5V, 3,3V).

Por isso foi utilizado o AmpOp LM358, no qual é um dispositivo que trabalha com alimentação simples, mesmo em baixas tensões. O AmpOp LM358 é um modelo bastante interessante e que funciona bem com alimentação simples, mesmo em baixas tensões. Segundo o seu *datasheet*, a tensão de saída no LM358 será entre 1,3V e 1,5V menor que o limite máximo de alimentação devido a suas limitações construtivas, e este valor pode variar de acordo com a corrente da carga.

Depois de aplicado o AmpOp no circuito e simulando, o resultado alcançado pode ser visto a seguir na figura 8:

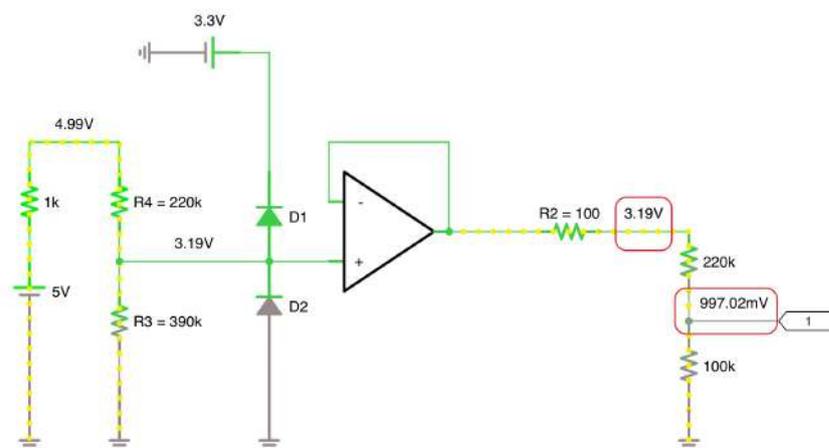


Figura 8 – Circuito do Tratamento de Sinal

Como pode ser observado o valor da tensão que entra no ADC do Nodemcu é de 3,19, ligeiramente abaixo do valor máximo permitido que é de 3,3V e com impedâncias casadas. Os diodos D1 e D2 são usados para proteção do AmpOp, funcionando como limitadores de tensão que irá cortar o excesso de tensão após a polarização do diodo.

### 3.1.3 RTC - Real Time Clock

Naturalmente a coleta de amostras ou medições ao longo do tempo são definidas com ciclos naturais, como o dia; período noturno; ou intervalos diários, sazonais ou anuais. Além disso, intervalos mais precisos às vezes são simplesmente definidos em unidades de tempo convenientes, como segundos (ou frações), minutos, horas, semanas ou meses (ARTIOLA;

WARRICK, 2004).

A maioria dos programas de amostragem temporal pode ser definida como sistemática, porque geralmente são realizados em intervalos regulares. Neste projeto a data e a hora das medições são cruciais, como no capítulo de revisão bibliográfica pode se observar que as medições, geralmente, são realizadas de oito em oito horas. Todavia, o sistema automatizado além de poder realizar mais medições, possibilita saber exatamente a data e hora que foi feita a medição possibilitando cruzamento de dados e trabalhos estatísticos. O trabalho realizado por Beddows e Mallon (2018) mostra a importância de se ter um *data logger* em ambientes mais agressivos e até mesmo submersos.

O Nodemcu não possui um relógio interno e para isso foi adicionado o módulo DS3231 (figura 9) que é o chamado RTC (*Real Time Clock*). O DS3231 é um relógio extremamente preciso e de baixo custo, possui um oscilador de cristal com compensação de temperatura. O dispositivo incorpora uma entrada de bateria e mantém a hora exata quando a energia principal do dispositivo é interrompida.

Um circuito comparador e de referência de tensão com compensação de temperatura monitora o status do VCC para detectar falhas de energia, fornecer uma saída de reinicialização e alternar automaticamente para o suprimento de backup quando necessário.

O RTC (figura 9) mantém informações sobre segundos, minutos, horas, dia, data, mês e ano. A data no final do mês é ajustada automaticamente para meses com menos de 31 dias, incluindo correções para o ano bissexto. O relógio funciona no formato de 24 ou 12 horas com um indicador AM / PM.



Figura 9 – RTC - Real Time Clock

### 3.1.4 Cartão de Memória

O cartão de memória é utilizado para gravar os dados em formato .CSV, formato no qual pode ser aberto por editores famosos como Excel, bloco de notas e etc. Ou seja, os valores lidos pelos sensores de pH e temperatura estarão sendo gravados no cartão de memória junto com a data e a hora de cada leitura, relacionando assim as leituras com a hora específica da medição.

O Nodemcu possibilita fazer a partição de sua memória e usar uma porção como sistema de arquivos para armazenamento. Porém, neste projeto optou-se usar o cartão de memória para armazenamento devido a facilidade em extrair os dados.

Neste projeto foi utilizado o módulo *MicroSD Card Module* que possui como característica principal o uso de cartões de memória no formato SD, ganhando espaço e a outra característica é a alimentação de 5,5V. A figura 10 mostra o módulo usado. A forma de comunicação com o módulo de cartão de memória se dá pelo protocolo SPI (*Serial Peripheral Interface*) que é uma comunicação serial síncrona.

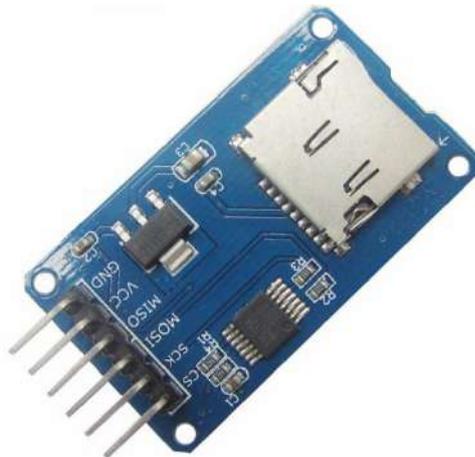


Figura 10 – Módulo do cartão de memória

### 3.1.5 Sonda de pH

A medição de pH pode ser muito útil para diversas áreas como por exemplo: recursos hídricos, agricultura de precisão, medicina e muitas outras possibilidades.

Devido às interações iônicas em todas as soluções, mas muito diluídas, é necessário usar a atividade de um íon e não sua concentração molar. O uso do termo pH pressupõe que a atividade do íon hidrogênio,  $[a]_h^+$ , está sendo considerada (EATON et al., 2005). Logo, pH indica a concentração de íons de hidrogênio  $[H]^+$  presentes em certas soluções e possui uma escala de 0 a 14. Ainda de acordo com a escala o pH pode ser classificado como: de acordo com a

concentração pode ser classificada como neutra quando  $\text{pH} = 7$ , ácida quando o  $\text{pH} < 7$  e básica com  $\text{pH} > 7$  (SARDELLA, 2000).

O princípio básico da medição de pH eletrométrico é a determinação da atividade do eletrodo de hidrogênio e um eletrodo de referência (KOHLMANN, 2003). O eletrodo de hidrogênio consiste de um eletrodo de platina através do qual o gás hidrogênio entra em estado de ebulição a uma pressão de 101 kPa. Por causa da dificuldade em seu uso e do potencial para estragar o eletrodo de hidrogênio, o eletrodo de vidro é comumente usado. O foco da eletromotriz produzido no sistema de eletrodo de vidro varia linearmente com o pH. Esta relação linear é descrita traçando a força eletromotriz medida contra o pH de diferentes *buffers*.

Como as atividades de um único íon,  $[a]_h^+$ , não podem ser medidas, o pH é definido operacionalmente em escala potenciométrica. O instrumento de medição de pH é calibrado potencio-metricamente com um eletrodo de indicação (vidro) e um eletrodo de referência usando valores nominais de buffers, sendo o pH da amostra determinado por extrapolação.

A sonda utilizada neste projeto possui um eletrodo de vidro que é sensível ao íon de hidrogênio, é justamente isso que forma a sonda. Também usa-se um circuito eletrônico para condicionar adequadamente o sinal para o uso desse sensor com um microcontrolador (figura 11).



Figura 11 – Sonda de PH e o circuito

A sonda de pH vem acompanhada de um circuito eletrônico para condicionar adequadamente o sinal e, desta forma, ser usado o sensor de pH com um microcontrolador, no caso deste trabalho é usado o *Nodemcu*. Para que o sistema de medição funcione perfeitamente no *Nodemcu* a calibragem do *offset* do circuito eletrônico da sonda de pH é de vital importância.

A média do range da sonda oscila entre valores positivos e negativos. O 0 (zero) representa um valor pH de 7,0. A fim de usar com o *Nodemcu* este circuito adiciona um valor de offset para o valor medido pela sonda, de modo que o ADC colete somente amostras de valores positivos de tensão. Para isso, força se um pH de 7,0 desconectando a sonda do circuito e curto-circuitando o conector BNC, medindo sempre com um multímetro o valor do pino Po e ajustando o potenciômetro para ser 2,5V, assim o 0 (zero) da escala de pH corresponde a 0V e 14 corresponde a 5V. A figura 12 mostra onde se localiza o potenciômetro referente ao *offset*.

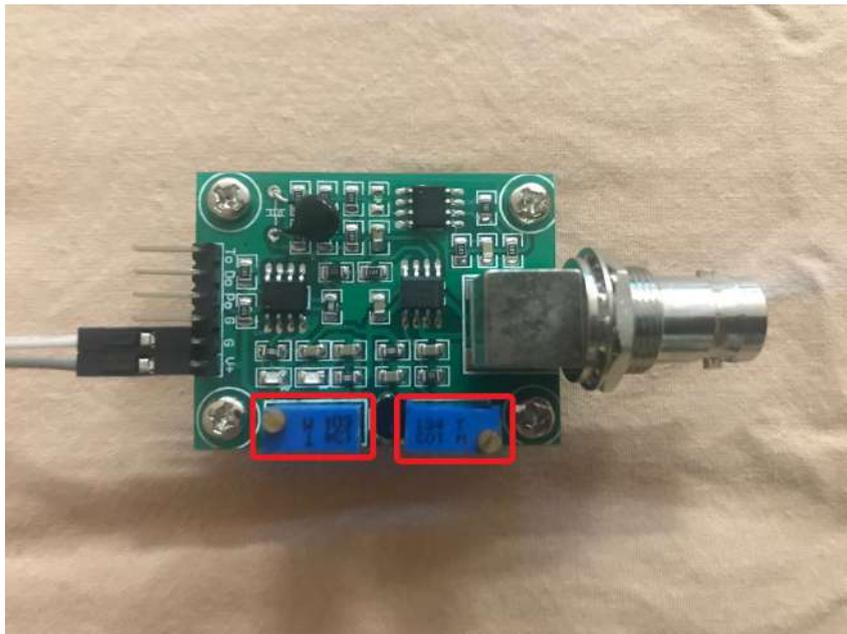


Figura 12 – Circuito Eletrônico pH

A figura mostra dois potenciômetros, um é o *offset* supracitado e o outro é o *pH Limit*. Este é usado para definir um valor limite do circuito do sensor de pH, fazendo com que um LED vermelho acenda e um sinal de saída (Do pin) seja ativado. O sinal pode ser usado para disparar algum alarme, ou realizar um controle, por exemplo.

Após configurado o circuito eletrônico foi a vez de testar a sonda de pH. Como a sonda é uma sonda de baixo custo proveniente da China, foram necessárias algumas etapas para certificar e validar o seu uso. Com a ajuda do laboratório de química localizado no Polo de Inovação pôde se obter dados valiosos.

Para se obter a precisão da sonda foram realizadas medições de soluções com valores conhecidos predeterminados, soluções de valor 4, 7 e 10 e a sonda conectada a um pHmetro certificado. Foi realizado cinco medições de cada valor, sendo como padrão o procedimento de medir, lavar a sonda, secar a sonda e medir novamente entre as cinco medições. Segue abaixo os

valores obtidos.

Tabela 2 – Valores das medições com a sonda de pH

pH	Valores Lidos				
<b>4</b>	<b>3,63</b>	<b>3,62</b>	<b>3,62</b>	<b>3,62</b>	<b>3,62</b>
<b>7</b>	<b>6,8</b>	<b>6,82</b>	<b>6,83</b>	<b>6,84</b>	<b>6,85</b>
<b>10</b>	<b>9,82</b>	<b>9,82</b>	<b>9,82</b>	<b>9,83</b>	<b>9,83</b>

A partir das medições foi utilizado a técnica de média geométrica para a extração da variação do erro e levantamento da curva do sensor de pH (HEINISCH; ROCCA, 2004). O motivo do uso da média geométrica é que ela normaliza os alcances que podem ser alcançados, então nenhum alcance dominará os pesos e uma dada mudança percentual em qualquer das propriedades possui o mesmo efeito na média geométrica.

A média geométrica é definida, para números positivos, como a raiz *enésima* do produto de  $n$  elementos de um conjunto de dados. Assim como a média aritmética, a média geométrica também é uma medida de tendência central (BRUNI, 2013). Sua fórmula, onde  $Mg$  é a média geral, é dada por:

$$Mg = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \cdot \dots \cdot x_n} \quad (5)$$

Logo, os valores obtidos foram:

Tabela 3 – Valor Padrão, Média Geométrica e Erro Absoluto e Erro Relativo

pH	Mg	Erro Abs	Erro Relat
<b>4</b>	<b>3,6220</b>	<b>0,3780</b>	<b>9,45%</b>
<b>7</b>	<b>6,8280</b>	<b>0,1720</b>	<b>2,46%</b>
<b>10</b>	<b>9,8240</b>	<b>0,1760</b>	<b>1,76%</b>

A proposta do sistema é fazer análises tanto de corpos hídricos dulcícolas quanto para corpos hídricos de água salgada. Segundo Gleick (1993) os corpos hídricos tanto de água doce quanto de água salgada apresentam um valor de pH entre 6 e 9, e nesta região o sensor de pH apresenta um desvio de  $\leq 2\%$ , o que garante uma boa qualidade de amostragem.

Além de realizar as medições com o sensor do projeto, foi realizado um comparativo entre o sensor de pH do projeto (de baixo custo) e o sensor padrão do pHmetro que é de nível industrial. Como podemos observar na tabela 5 a seguir:

Tabela 4 – Sonda Padrão x Sonda do Trabalho

pH	Sonda do Trabalho	Sonda Referência
4	3,66	4
7	6,86	7
10	9,9	10

Uma vez que o eletrodo é caracterizado pelo seu Zero pH (0 mV no pH 7) e pelo seu declive, é aconselhável fazer no mínimo uma calibração com dois padrões de forma a conseguir-se alcançar medidas mais fiáveis e precisas. Quando as medições são executadas numa ampla gama de valores de pH, recomenda-se então a calibração com 3 padrões.

Após a realização dos passos acima, foi necessário levantar a curva do sensor para fazer a implementação no software. Uma vez que o eletrodo é caracterizado pelo seu Zero pH (2,5V no pH7) e pelo seu declive, é conveniente realizar no mínimo uma calibração com dois padrões de forma a obter as medidas precisas e quando envolve uma todo o espectro de valores de pH (0 - 14), é aconselhado a calibração com 3 padrões (TITRATION, ).

O levantamento foi feito conectando o sensor de pH ao circuito eletrônico, mergulhando o sensor, novamente, em soluções com valores de pH determinados (4 e 7) e medindo a saída a tensão (Vdc) entre os pinos Po e GND. Desta forma, chegamos aos seguintes valores:

Tabela 5 – Valores de pH x Tensão

pH	Sonda do Trabalho	Tensão
4	3,66	3,04
7	6,86	2,65

Considerando a equação da reta como:

$$y = mx + b \quad (6)$$

Onde o "x" é o sinal de saída em Volts (Vdc) e o "y" é o valor de pH lido. Podemos montar um sistema de equações lineares para deduzir a equação da reta, ficando:

$$\begin{cases} 3,04m + b = 3,66 \\ 2,65m + b = 6,86 \end{cases} \quad (7)$$

Resolvendo o sistema de equações, o resultado alcançado é a equação de uma reta (equação 8) e que é a equação de modelagem do sensor de pH e deve ser implementada no código de

programação do Nodemcu.

$$y = -8,20x + 28,60 \quad (8)$$

O *datasheet*, se encontra no Anexo B, do sensor traz informações referente ao seu funcionamento, tempo de vida útil, precauções, etc. Algumas considerações relevantes são:

- Não é recomendável a imersão em água para testes contínuos
- Tempo de vida útil de 6 meses, podendo cair para 1 mês quando exposto a solução turva, fortemente ácida ou alcalina a uma temperatura de 25 °C
- Indicado para testes dentro de pH 6 – 8
- Depende do valor do pH, quanto mais próximo da solução neutra (pH = 7,00), mais tempo levará. Testes apontam que em pH de água = 6,0, o sensor leva 6 minuto em média e em soluções padrão de ácido / básico (4,00 / 10,00), são necessários apenas 10 segundos.

O sensor possui características relevantes que devem ser pensadas quanto ao seu uso. Foi escolhido esse sensor para este trabalho devido a acessibilidade e também ao tempo. Contudo, o mais importante é testar o conceito e a ideia para que haja melhorias.

### 3.1.6 Montagem do Circuito Eletrônico

Desenvolver um circuito eletrônico não é uma tarefa muito simples. Todavia, quando o projeto é muito específico há uma necessidade da confecção de toda parte eletrônica para que seja embarcada, para essa função existem diversos softwares. Neste projeto foi usado o *Fritzing*, um software *open-source* que permite gerar figura das ligações, do esquemático e o desenho do circuito eletrônico.

Para este projeto foi necessário desenvolver toda a parte eletrônica para que fosse embarcada e utilizada de forma submersa. O circuito eletrônico foi desenvolvido usando todos os produtos outrora citados e mais alguns outros componentes eletrônicos, para isso foi desenvolvido o desenho com o intuito de guia para o desenvolvimento.

Outro aspecto de suma importância é a questão da alimentação. O sistema desenvolvido será alimentado por uma bateria de *nobreak* na qual fornece 12 Vdc. Foi utilizado um regulador de tensão LM2596, com a função de regular a tensão de 12 Vdc para 5 Vdc, alimentando o Nodemcu, o circuito e a sonda de pH e também o módulo do cartão de memória. Na figura 13 chamado de desenho esquemático, mostra a interligação entre todos os componentes, fontes de alimentação de cada componente e todo o esquema eletrônico desse projeto.



Para a confecção da placa de circuito impresso (PCB) algumas regras precisam ser seguidas, a mais importante é não cruzar as trilhas. A placa possui uma entrada para alimentação de 5 Vcc, fornecida do regulador de tensão LM2596 que recebe a tensão de 12 Vcc da bateria e regula a tensão para 5 Vcc.

A partir da entrada (J8) foram feitas três derivações para as três saídas (representadas pelos conectores J6, J7 e J8) que alimentam respectivamente o Nodemcu, o sensor de pH e o módulo do SD Card.

A placa foi desenvolvida para usar apenas uma face da placa de fenolite (figura 14) e ela foi produzida no próprio IFF, Polo de Inovação, utilizando a fresadora do laboratório de automação.

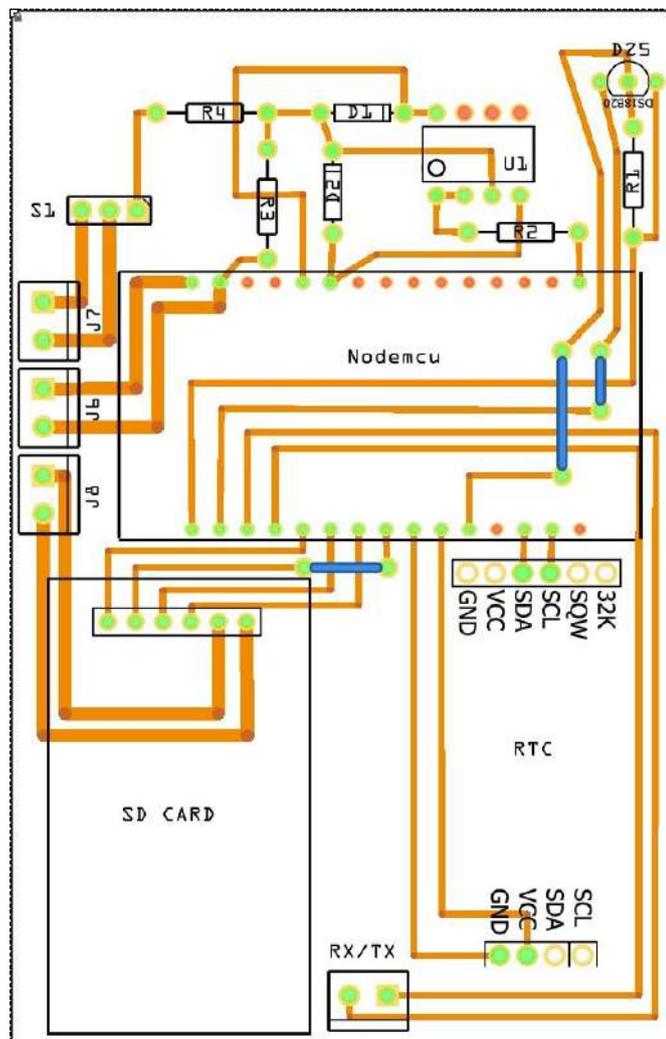


Figura 14 – Projeto da Placa de Circuito Impresso

## 3.2 Software

Diferentemente de um computador o microcontrolador não possui um sistema operacional, ele opera seguindo uma lista de instrução previamente definida em sua memória. A lista de instrução, muitas vezes referida como programa ou código de programação, é gravada na memória flash do microcontrolador, no caso desse trabalho o Nodemcu.

Para o desenvolvimento do programa carregado na memória flash do Nodemcu foi usado o ambiente de desenvolvimento do Arduino, conhecido como Arduino IDE. O Arduino IDE tem como atrativo a gratuidade no seu uso, possibilitando a escalabilidade deste projeto e a natureza multiplataforma deste software possibilita o uso em diversos sistemas operacionais: Linux, MacOS e Windows.

A conexão e comunicação entre o Nodemcu e o ambiente de programação, Arduino IDE, se dá através de conexão USB, o Nodemcu possui um conversor USB/Serial integrado (figura 15). O código escrito para o Nodemcu é meramente um conjunto de funções C / C ++ que podem ser chamadas a partir do seu código.

Seu esboço sofre pequenas alterações (por exemplo, geração automática de protótipos de função) e, em seguida, é passado diretamente para um compilador C / C ++ (avr-g ++). Todas as construções padrão C e C ++ suportadas pelo avr-g ++ funcionam no Nodemcu.

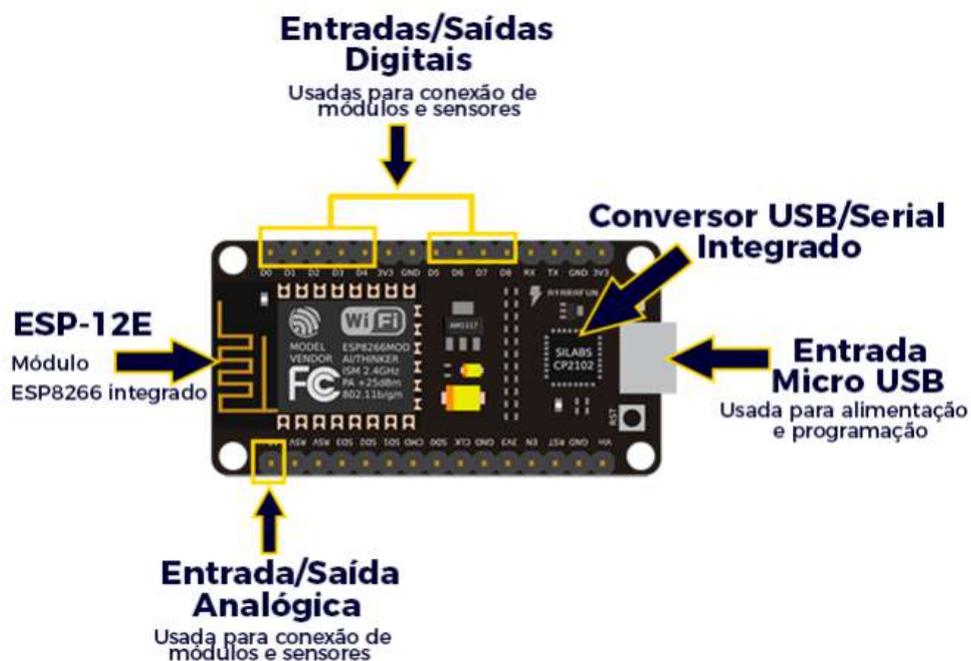


Figura 15 – Módulos a bordo do Nodemcu (adaptado do Google)

O Código usado nesse projeto encontra-se localizado no Apêndice A totalmente comentado para um melhor entendimento. Contudo, a figura 16, logo abaixo, demonstra o fluxograma do código.

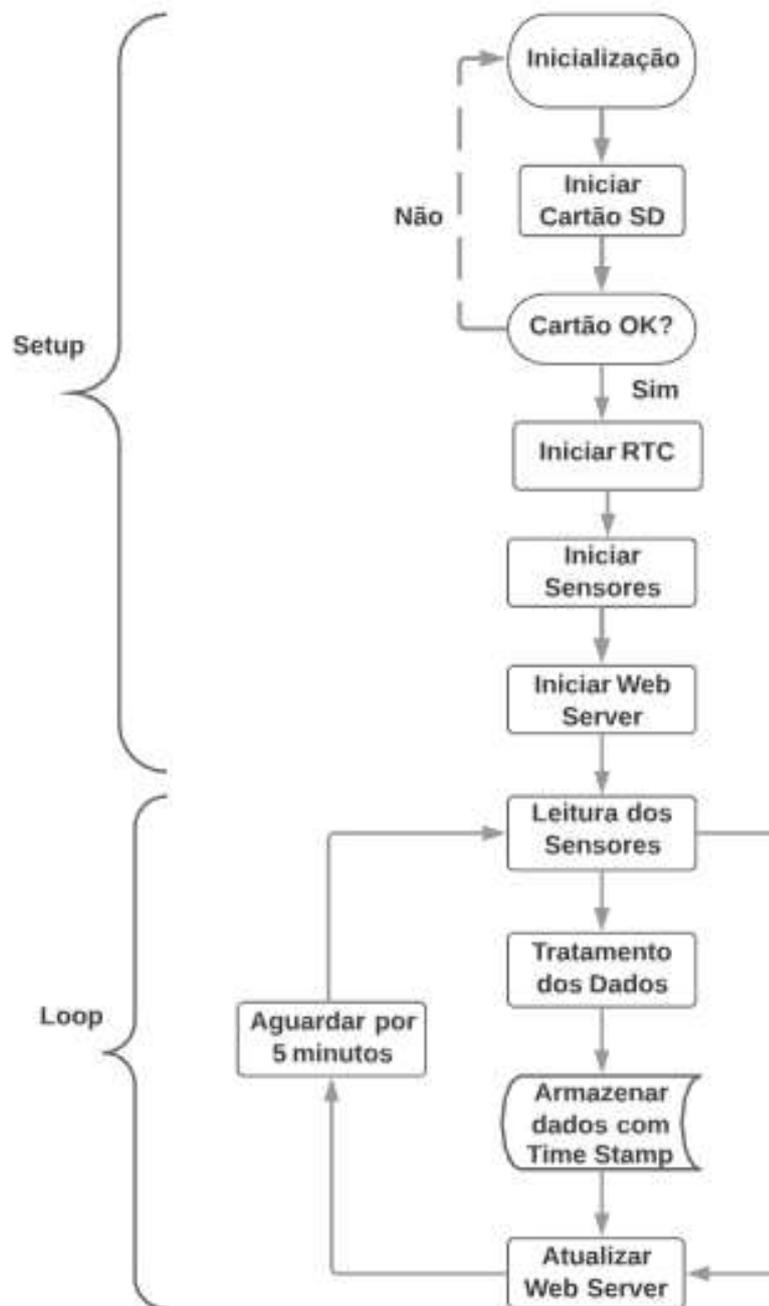


Figura 16 – Fluxograma do Software

O fluxograma acima demonstra o algoritmo, lista de tarefas, executadas pelo Nodemcu de acordo com sua importância. O fluxograma pode ser dividido em duas partes, parte da configuração e a parte do loop. A parte de configuração é onde o Nodemcu inicia todos os sistemas importantes, tais como: SD Card, Sensores, RTC, Servidor Web e etc., caso um não esteja bem ele retorna avisando que há um erro. Já a parte do loop é logo após a configuração, se está tudo funcionando bem, então, o loop é iniciado.

No loop é onde as acontecem as repetições dentro de um tempo predeterminado (a cada 2 minutos e meio para este trabalho), as repetições são: leitura dos sensores, tratamento dos dados, armazenamento no cartão de memória e atualização do servidor web, todo este processo é repetido a cada 2,5 minutos.

## 4 RESULTADO E DISCUSSÃO

### 4.1 Testes de Laboratório

O laboratório de química do Polo de Inovação, onde foi realizado todos os procedimentos, possui soluções com pH previamente conhecidos, estas soluções possuem os valores de 4, 7 e 10 para pH. Para a validação do protótipo foi realizado comparações entre as leituras do protótipo e do phmetro da Thermo Scientific Orion Star A214 que o laboratório possui.

Por se tratar de uma atividade iônica já existe certa incerteza inerente as medidas, e por isso, exige bastante cuidado durante o seu manuseio (EATON et al., 2005).

A medição de pH está presente em quase todos os processos que contêm água e a maioria dos seres vivos dependem de um nível de pH adequado para sobreviverem, pois todos os seres humanos e animais dependem de mecanismos internos para manter o nível de pH do seu sangue (KOHLMANN, 2003).

A temperatura tem influência, tanto sobre o eletrodo, como sobre a amostra a ser analisada e portanto, tem também influência no pH medido (TOLEDO, 2007). Esta influência da temperatura pode ser compensada pelo instrumento aqui desenvolvido, através da compensação automática da temperatura, utilizando um sensor de temperatura colocado na amostra.

Uma vez que um eletrodo de pH se trata de um dispositivo passivo, o mesmo adquire tensões que são transmitidas pelas soluções a serem medidas. Isto faz com que, ao longo do tempo, o eletrodo se desgaste e comece a ler valores com desvios que vão se aumentando com o tempo..

Quando o eletrodo não está a ser utilizado, a sua ponta deve permanecer mergulhada na solução de armazenamento, constituída neste caso por 68% de água, 2% de hidrogeno ftalato de potássio e 30% de cloreto de potássio, como se vê na figura 17, logo abaixo.

A sonda de pH requer um manuseio extremamente cuidadoso, não só pela fragilidade, mas devido ao sensor que que é constituído a sonda. É necessário retirar a ponta do eletrodo do frasco para se poder emergi-la na solução desejada. A boa prática diz que após o eletrodo ser usado, o sensor deve ser limpo, enxaguado com água destilada para retirar toda e qualquer impureza e também coibir qualquer tipo de reação química no sensor, após lavado com água



Figura 17 – Eletrodo em sua solução de armazenamento

destilada a sonda pode ser mergulhada na solução de armazenamento (PEREIRA, 2016).

Os testes de calibração descritos a seguir foram realizados seguindo as recomendações citadas logo acima. Os testes consistiram em realizar medições com o protótipo e compara-las com a medição de um phmetro profissional (Thermo Scientific Orion Star A214). O primeiro teste foi realizado usando a solução de pH7, uma vez que este é o valor que se encontra no meio da escala de pH e também o valor aproximado encontrado em ambientes lagunares de água doce, no qual seria feito o teste de campo.

Os resultados obtidos foram bastante positivos, como se pode ver na figura 18, o protótipo fez medições a cada 3 segundos, mostrando uma estabilidade depois de aproximadamente 5 minutos (aproximadamente o tempo dito no *datasheet* entre 7,12 e 7,16. Levando em consideração a média aritmética de 7,14, o erro de leitura fica em torno de 0,14 o que gera a confiabilidade de aproximadamente 98%. O gráfico também mostra que o phmetro fica um valor um pouco acima do valor da solução, contudo, é importante salientar que o phmetro não faz medições contínuas, uma vez colocado a sonda na solução, aperta se o botão de iniciar, o aparelho então realiza algumas medições até estabilizar e depois de estabilizado é mostrado o valor medido. O valor de referência usados nos gráficos são as medições estabilizadas do phmetro. Sabendo que a temperatura da solução pode inferir na solução e com isso gerar uma discrepância entre as medições do protótipo e do phmetro.

Após a realização da medição da solução de valor 7, como manda a boa prática, foram limpos com água destilada tanto o sensor do protótipo como o sensor do phmetro e depois enxugados com papel toalha, deixando os prontos para a próxima rodada de medições. Nesta rodada foi utilizada a solução de valor 10 de pH, ou seja, uma solução um pouco mais básica. Neste valor de pH, estão situados elementos como o sabão, por exemplo

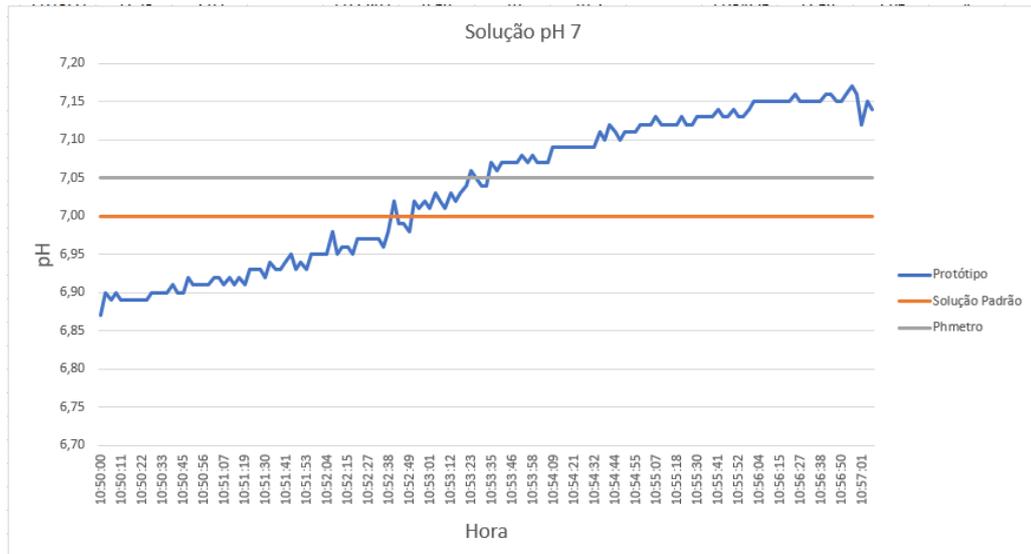


Figura 18 – Gráfico de Leituras - Solução pH 7

Pela figura 19, logo abaixo, pode se observar que houve uma discrepância um pouco maior nas medições em relação a medição da solução de valor 7, estando de acordo com o *datasheet*. Agora, o protótipo mostra uma leitura onde estabiliza-se no valor de 11, gerando um erro de leitura no valor de 1, o que representa uma confiabilidade de 90%, o que é considerado um valor satisfatório, já o phmetro ficou em aproximadamente 10,2.

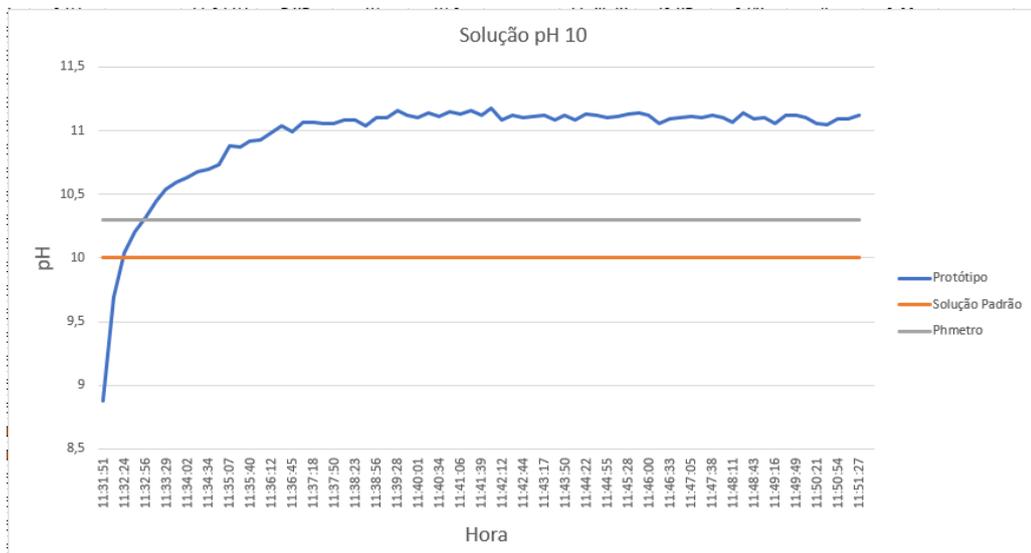


Figura 19 – Gráfico de Leituras - Solução pH 10

Após os sensores passarem novamente por uma limpeza, uma nova campanha de medição foi realizada, porém, desta vez foi utilizado a solução de pH com valor 4. Neste valor de pH, encontra se elementos como a cerveja, por exemplo.

O valor lido pelo protótipo foi de aproximadamente 3, o que gera novamente um erro de leitura no valor de 1, contudo uma confiabilidade mais baixa, neste tipo de leitura com o pH muito baixo a confiabilidade foi de 75%, as leituras podem ser vistas na figura 20, a seguir:

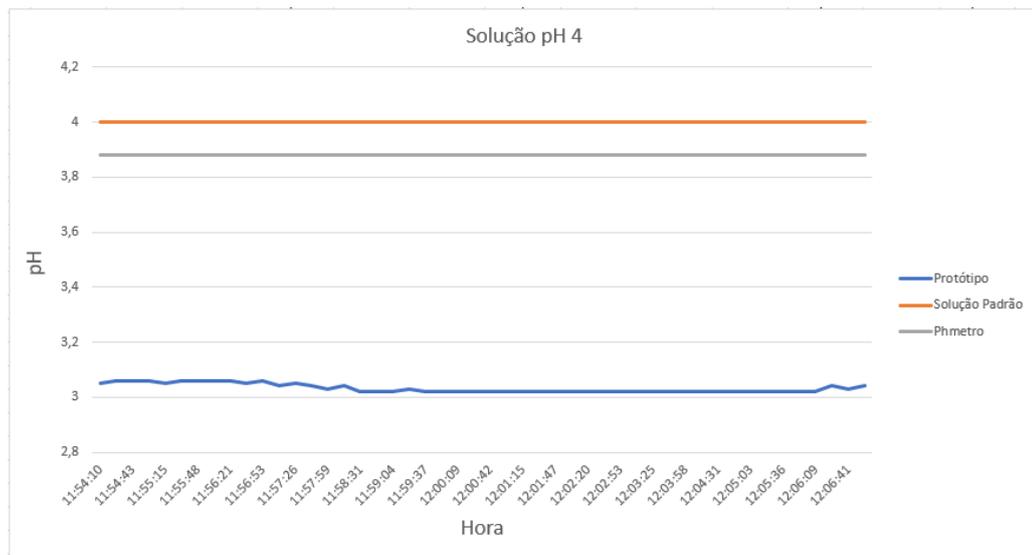


Figura 20 – Gráfico de Leituras - Solução pH 4

Mais uma vez realizado os processos de limpeza das sondas de medição de pH, a próxima bateria de teste foi realizar medições da água do rio Paraíba do sul captada na hora. Neste teste o protótipo mostrou uma resposta muito boa e com um alto grau de confiabilidade, uma vez que a água do rio possui um pH próximo ao neutro. O phmetro indicou o valor de 7,65 e o valor lido do protótipo ficou em torno de 7,53 depois de estabilizado, o que pode ser conferido na figura 21, apresentando um erro de 0,12 o que leva a um grau de confiabilidade de aproximadamente de 98,4% o próximo teste realizado foi a medição do valor de pH.

Ao analisar os gráficos percebe-se que o protótipo leva um tempo para estabilizar, então, foi realizado uma nova campanha de teste, onde o sensor industrial do phmetro foi instalado no protótipo. A figura 22 mostra as leituras realizadas com a configuração do protótipo com o sensor industrial.

A latência é quase imperceptível e os valores são muito próximos ao padrão, que foi a medição realizada com o phmetro. A média dos valores lidos é de 7,74 (durante toda a extensão de leitura), gerando, assim, um erro de 0,09 o que apresenta um grau de confiabilidade de 98,8%.

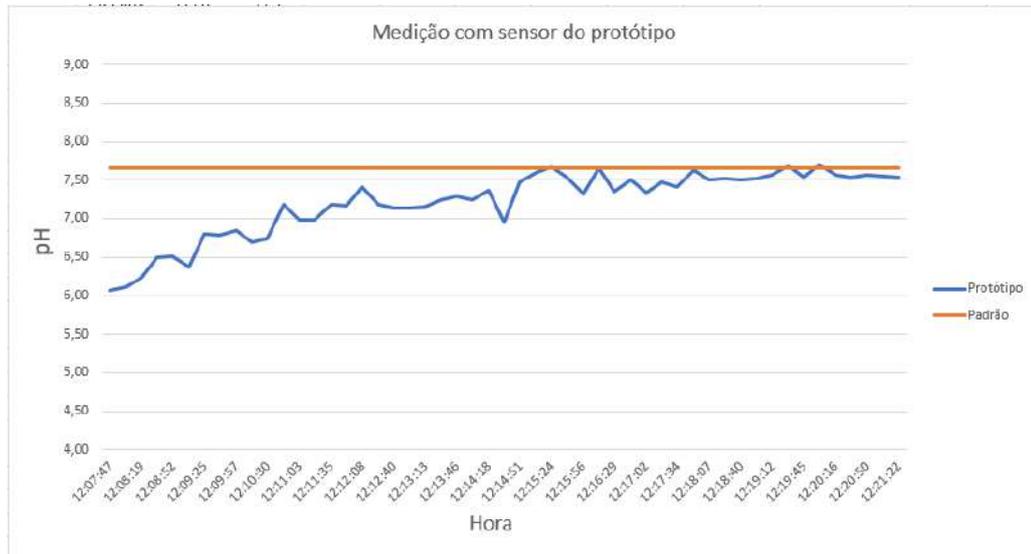


Figura 21 – Gráfico de Leituras - Água do Rio Paraíba

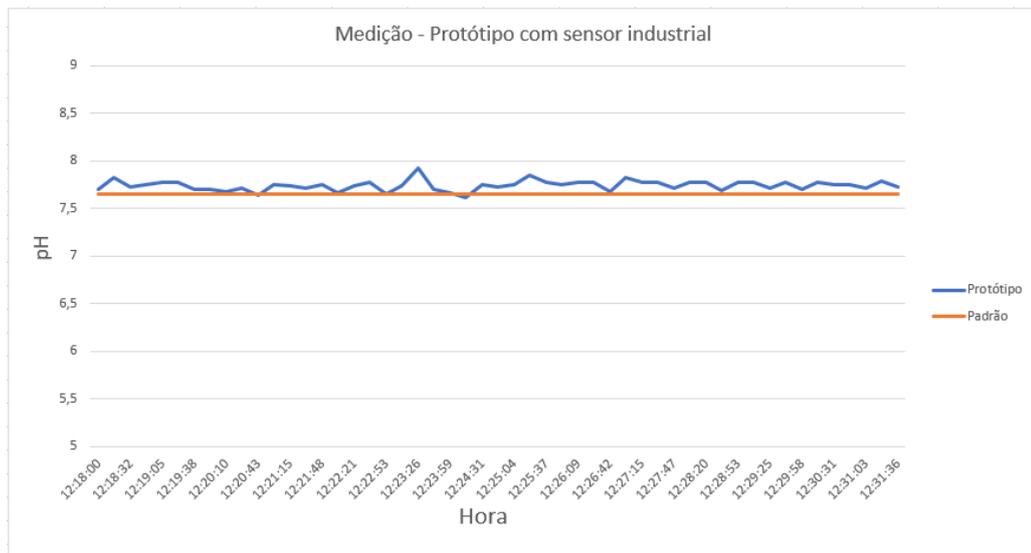


Figura 22 – Gráfico de Leituras - Água do Rio Paraíba sensor industrial

Comparando a medição com o sensor do protótipo, além do sensor industrial apresentar uma resposta mais rápida, apresenta também um grau de confiabilidade bem maior. Contudo, o valor do sensor industrial é muito mais elevado ao sensor usado no protótipo, o que inviabilizaria o projeto como um todo.

Com os testes de bancada pôde se levantar o comportamento do sistema como um todo e ter um panorama de como ele funcionaria nos testes de campo, estes serão debatidos mais a frente.

## 4.2 Bell jar

O bell jar é uma cobertura feita de algum material, geralmente transparente, em forma de sino usada para cobrir objetos delicados, em laboratórios para envolver amostras ou mesmo manter um ambiente isolado do mundo exterior.

Para o projeto desta dissertação foi utilizado como material do bell jar o acrílico, foi confeccionado tanto a parte de cima quanto a parte que calça o bell jar em acrílico transparente como se pode ver na figura 26. O bell jar tem uma circunferência de 48 cm, apresentando um raio de 24 cm o que permite isolar do ambiente externo aproximadamente 30 litros.



Figura 23 – Visão lateral do Bell Jar com o seu suporte e seu calço

Fazendo parte da estrutura pensada para o projeto, a parte que calça o bell jar serve para melhorar o isolamento entre o que está sendo contido e o ambiente externo, inserindo a parede do calço no sedimento o máximo possível, sua parede conta com 15 cm de altura e as suas bordas são vedadas com uma borracha entre o bell jar e o calço, como pode ser visto na figura 27, logo abaixo. Os grampos, no total de dez, são usados para ajudar a fixar o bell jar no calço e, assim, auxiliar a vedação também.



Figura 24 – Bell jar e calço acoplados

Outra parte de suma importância é a estrutura de tubo de PVC (**policloreto de polivinila**) e sua função é de auxiliar a fixação do bell jar e não permitir que este possa ser levado pela marola, uma possível correnteza e etc., também auxilia no transporte do dispositivo inteiro.

Como pode ser visto na figura 26, existe uma base quadricular preenchida com areia para dar peso e preso a base há uma estrutura triangular onde os tubos foram aquecidos, uma vez que a propriedade destes tubos é de deformar e depois manterem a memória, até adquirirem o formato necessário (figura 28) para fazer encaixes e desencaixes.

Pela vista superior, figura 29, nota se que o bell jar possui alguns furos distribuídos em sua superfície, no total são nove furos. Cada furo é fechado usando flanges de 0,5 e 1 polegada, cada flange possui funções específicas, importante salientar que cada flange possui borrachas para que o meio interno não tenha contato com o ambiente externo.

As funções dos flanges podem ser listadas como:

- # 1 Sensor de pH
- # 2 Sensor de temperatura
- # 4 Bomba centrífuga para circulação de água
- # 8 Flange para inserção de produtos, como por exemplo o ácido acético (vinagre), azul de metileno, etc.



Figura 25 – Estrutura de tudo de PVC

- # 9 Flange com uma válvula que equaliza a pressão interna com a pressão externa, podendo liberar água para o ambiente externo com intuito de equalização da pressão
- # 3 # 5 # 6 e # 7 Flanges disponíveis para outros sensores, tais como: Oxigênio dissolvido, potencial oxi-redução, condutividade, por exemplo.

Já para o encapsulamento da parte eletrônica (próxima seção) foi utilizado um filtro de máquina de lavar roupa, como pode ser visto na figura 30, abaixo. A partir da aquisição do filtro tudo foi pensado para que coubesse em seu interior tanto a parte eletrônica quanto a parte elétrica.

Para abrigar tudo no filtro foram feitas algumas modificações para passar os cabos e também para vedar a entrada de água. Para a vedação foi utilizado cola quente e espuma expansiva, abaixo a figura 31 mostra a tampa do filtro e as passagens de cabo.

O cabo utilizado para alimentação é um cabo pp 2x1,5mm que é um cabo composto por dois cabos internos de 1,5mm de secção cada e envoltos em um cabo emborrachado. O comprimento do cabo de força é de 15 metros, para poder fornecer mobilidade ao sistema como um todo, o cabo é conectado a uma bateria de 12 Vdc que pode ficar em um barco na superfície ou mesmo na borda do corpo lagunar onde será feito o experimento.

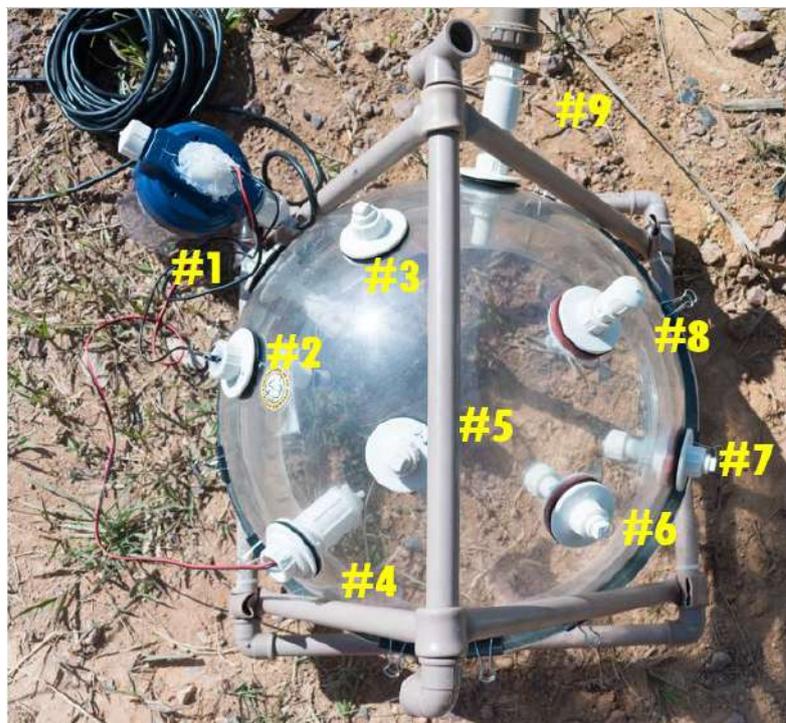


Figura 26 – Bell Jar vista superior



Figura 27 – Filtro com os componentes eletrônicos dentro

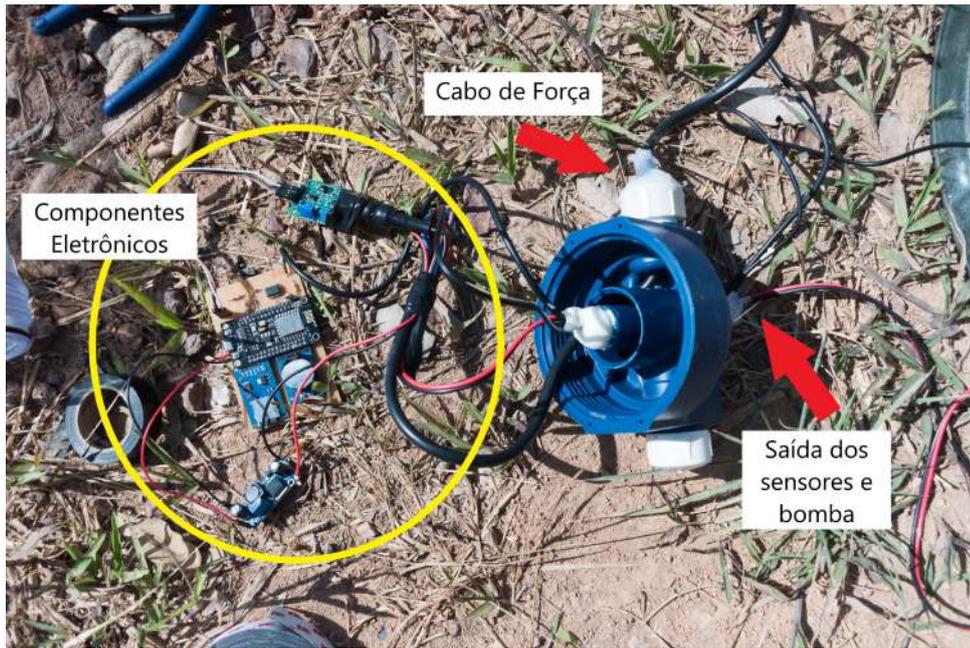


Figura 28 – Tampa do Filtro com o cabeamento passado

Como pode ser visto, o material mecânico ou material de encapsulamento pôde ser comprado em lojas comuns o que facilita a construção e o reparo também. As figuras 32 e 33 mostram o bell jar submerso e operacional no campo.

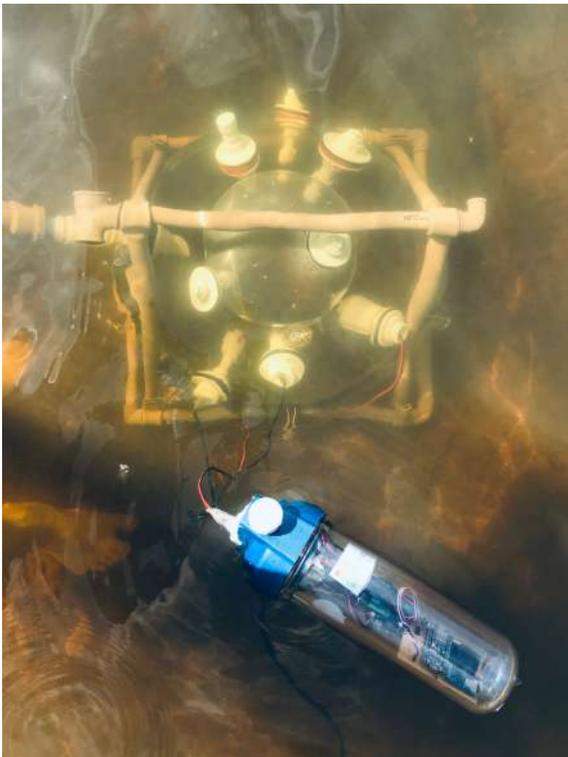


Figura 29 – Bell jar submerso 1



Figura 30 – Bell jar submerso 2

O teste de campo foi realizado no dia 25/01/2019 e foi dividido em duas campanhas, cada campanha teve duração de 1 hora. A primeira campanha foi realizada de 09:45 a 10:45, nesta campanha foram medidos o pH e a temperatura da água normalmente sem adição de nenhum produto. As leituras oscilaram um pouco, mas, se mantiveram na média de 7,4 o que é comum entre os ambientes lagunares não poluídos e com boa qualidade da água. O gráfico da campanha 1 pode ser analisado abaixo, na figura 34.

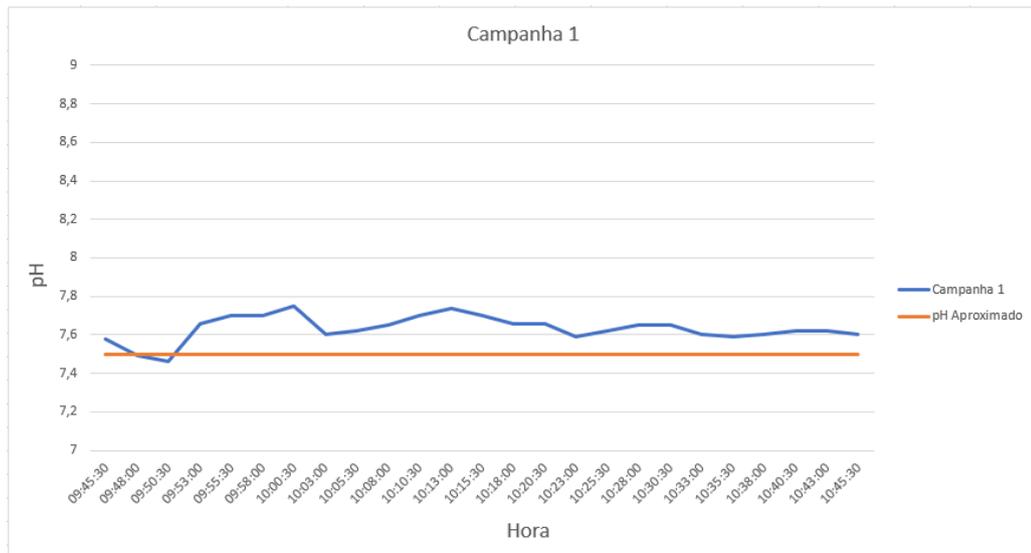


Figura 31 – Prova de Campo medindo pH da Lagoa

A segunda campanha começou as 11:00 e foi até as 12:00, para a segunda campanha foi inserido no bell jar, através de um dos flanges, três litros de ácido acético de álcool, que possui aproximadamente um valor de pH próximo a 2,3, o que corresponde a 10% do volume total do bell jar.

O resultado, ao misturar o ácido acético com a água no ambiente interno do bell jar através da bomba de circulação, foi como esperado e alterou o pH no interior, o sistema foi capaz de realizar a medição, no início se percebe uma queda no valor do pH e com o passar do tempo o valor vai se estabilizando entre 4,5 e 5 como demonstra a figura 35 abaixo.

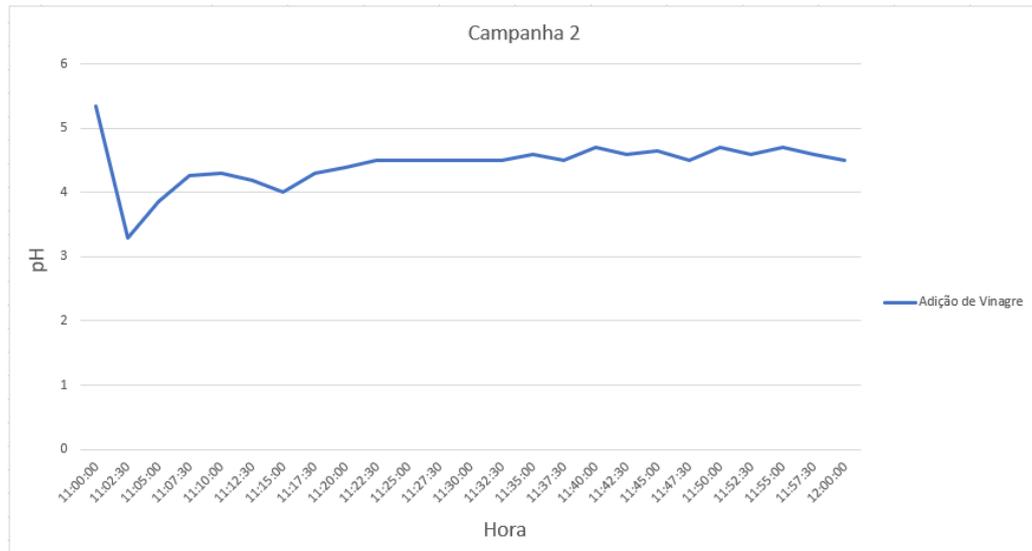


Figura 32 – Gráfico da alteração do pH por adição de ácido acético

O sistema encontra-se em aperfeiçoamento para a ampliação do uso de mais sensores, testes de velocidade de bombas de circulação da água e aprimoramento do sistema de vedação do encapsulamento.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sistema mostrou-se eficaz e funcional, tendo realizado as duas campanhas na Lagoa de Travessão e os resultados foram satisfatórios. As faixas de medição de pH foram determinadas entre 3 e 8. Durante as duas campanhas, o grau de confiabilidade da leitura do sistema é de aproximadamente 90%, compatível com a variabilidade do sistema natural e, tendo em consideração o baixo custo do eletrodo utilizado.

O sistema bell jar tanto na sua parte mecânica quanto na parte eletrônica apresenta viabilidade econômica por se tratar de componentes de baixo custo de forma geral e, materiais comerciais como os flanges utilizados para inserir os sensores.

O sistema da forma que foi concebido tem possibilidade de expansão e escolha dos sensores que serão utilizados de acordo com o projeto de monitoramento ambiental a ser executado.

Desenvolver um equipamento tipo bell jar com sistema microcontrolado embarcado customizável para coleta automática de dados geoquímicos de reservatórios de baixa energia e lagoas costeiras.

O projeto conseguiu conceber e desenvolver a estrutura tipo bell jar para aplicações em ambientes de baixa energia como as lagoas costeiras. Acoplado ao projeto mecânico foi desenvolvido o sistema microcontrolado embarcado que automatiza o monitoramento e conta com característica escalável, possibilitando a inserção de novos sensores e o ajuste de localização de cada um.

Para o funcionamento do sistema foi desenvolvido um algoritmo para a automatização de coleta de dados, armazenamento, registro de data e hora e transmissão de dados via web server.

O encapsulamento utilizado assim como os pontos de acesso ao interior do bell jar são compostos de materiais facilmente encontrados no comércio sendo substituível e de fácil manutenção.

Os testes de campo preliminares produziram dados aceitáveis do ponto de vista do monitoramento ambiental tendo sua margem de erro completamente satisfatória se for considerada a variabilidade natural do sistema lagunar estudado.

A pesquisa ainda ainda permanece em desenvolvimento por mais dois anos e com apoio financeiro da AGEVAP e do Comitê de Bacias Hidrográficas do Médio e Baixo Paraíba do Sul e do Itabapoana.

## **5.1 Trabalhos futuros**

Para os trabalhos futuros é recomendado, o adição de sensores no qual a plataforma já está pronta para receber, acrescentar um inversor de frequência para controlar a velocidade da bomba de circulação e melhorar o encapsulamento ou vedação contra a entrada de água.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACEVEDO, M. F. *Real-Time Environmental Monitoring: Sensors and Systems*. [S.l.]: CRC Press, 2015. Google-Books-ID: SmjdCgAAQBAJ. ISBN 978-1-4822-4034-4. Citado na página 17.
- AGAWIN, N. S. et al. Temporal and spatial variability of in situ nitrogen fixation activities associated with the Mediterranean seagrass *Posidonia oceanica* meadows. *Limnology and Oceanography*, v. 62, n. 6, p. 2575–2592, 2017. Citado na página 20.
- ARATO, A. et al. Integration of geophysical, geochemical and microbiological data for a comprehensive small-scale characterization of an aged Inapl-contaminated site. *Environmental Science and Pollution Research*, Springer, v. 21, n. 15, p. 8948–8963, 2014. Citado na página 14.
- ARTIOLA, J.; PEPPER, I.; BRUSSEAU, M. Monitoring and Characterization of the Environment. In: *Environmental Monitoring and Characterization*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 1–9. Citado 2 vezes nas páginas 17 e 21.
- ARTIOLA, J. F.; WARRICK, A. W. 2 - SAMPLING AND DATA QUALITY OBJECTIVES FOR ENVIRONMENTAL MONITORING. In: *Environmental Monitoring and Characterization*. Burlington: Academic Press, 2004. p. 11–27. ISBN 978-0-12-064477-3. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780120644773500047>>. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 32.
- BALZER, W. Organic matter degradation and biogenic element cycling in a nearshore sediment (Kiel Bight). *Limnology and Oceanography*, v. 29, n. 6, p. 1231–1246, 1984. Citado 3 vezes nas páginas 14, 15 e 16.
- BEDDOWS, P.; MALLON, E. Cave pearl data logger: A flexible arduino-based logging platform for long-term monitoring in harsh environments. *Sensors*, v. 2018, 02 2018. Citado na página 32.
- BERRÊDO, J. F. et al. Mineralogia e geoquímica de sedimentos de manguezais da costa amazônica: o exemplo do estuário do rio marapanim (pará). *Revista Brasileira de Geociências*, v. 38, n. 1, p. 24–35, 2008. Citado na página 14.
- BOTTOMLEY, E. Z.; BAYLY, I. L. A sediment porewater sampler used in root zone studies of the submerged macrophyte, *Myriophyllum spicatum*. *Limnology and Oceanography*, v. 29, n. 3, p. 671–673, 1984. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- BOYNTON, W. R. et al. Influence of water circulation rate on in situ measurements of benthic community respiration. *Marine Biology*, v. 65, n. 2, p. 185–190, 1981. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- BROWN, P.; MUSIL, S. Automated Data Acquisition and Processing. In: *Environmental Monitoring and Characterization*. [S.l.: s.n.], 2004. p. 49–67. Citado na página 17.
- BRUNI, A. L. *Estatística aplicada à gestão empresarial*. [S.l.]: Editora Atlas SA, 2013. Citado na página 36.

- CARIGNAN, R.; RAPIN, F.; TESSIER, A. Sediment porewater sampling for metal analysis: A comparison of techniques. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 49, n. 11, p. 2493–2497, 1985. Citado na página 15.
- CARMOUZE, J. P. O metabolismo dos ecossistemas aquáticos. *Edgard Blücher/SBL/FAPESP, São Paulo*, 1994. Citado na página 14.
- CARMOUZE, J.-P. et al. A versatile in situ sediment pore water sampler. *Mangroves and Salt Marshes*, v. 1, n. 2, p. 73–78, jun. 1997. ISSN 1386-3509, 1572-977X. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1023/A:1009988000065>>. Citado na página 15.
- CHAPMAN, D. V. *Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring*. [S.l.]: CRC Press, 2002. Citado na página 18.
- EATON, A. D. et al. Standard methods for the examination of water and wastewater. *American public health association, American Water Works Association & Water Environment Federation Washington . . .*, v. 1015, p. 49–51, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 33 e 44.
- ENELL, M.; LÖFGREN, S. Phosphorus in interstitial water: methods and dynamics. *Hydrobiologia*, v. 170, n. 1, p. 103–132, 1988. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.
- FILHO, J. P.; OLIVEIRA, U. C.; MANZONI, G. C. O uso de Bell Jar na avaliação do metabolismo bentônico na armação do Itapocoroy: Resultados preliminares. *Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology*, v. 2, n. 1, p. 81–92, 2010. Citado na página 20.
- FREITAS, U. d. et al. Influência de um cultivo de camarão sobre o metabolismo bêntico e a qualidade da água. 2008. Disponível em: <<http://repositorio.furg.br/handle/1/2772>>. Citado na página 21.
- GLEICK, P. H. *Water in crisis: a guide to the worlds fresh water resources*. New York New York Oxford University Press 1993., 1993. Citado na página 36.
- GLYNN, P. D. et al. From data to decisions: Processing information, biases, and beliefs for improved management of natural resources and environments. *Earth's Future*, v. 5, n. 4, p. 356–378, 2017. Citado na página 23.
- GRANELI, W. Measurement of sediment oxygen uptake in the laboratory using undisturbed sediment cores. *Vatten*, 1977. Citado na página 14.
- GUSSOW, M. *Eletricidade básica: Coleção Schaum*. [S.l.]: Bookman Editora, 2009. Citado na página 29.
- HALL, C. A.; TEMPEL, N.; PETERSON, B. J. A benthic chamber for intensely metabolic lotic systems. *Estuaries*, v. 2, n. 3, p. 178–183, 1979. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.
- HEINISCH, S.; ROCCA, J. Effect of mobile phase composition, ph and buffer type on the retention of ionizable compounds in reversed-phase liquid chromatography: application to method development. *Journal of Chromatography A*, Elsevier, v. 1048, n. 2, p. 183–193, 2004. Citado na página 36.
- HOWES, B. L.; DACEY, J. W.; WAKEHAM, S. G. Effects of sampling technique on measurements of porewater constituents in salt marsh sediments. *Limnology and Oceanography*, v. 30, n. 1, p. 221–227, 1985. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

JR, A. P. *Amplificadores Operacionais e Filtros Ativos-8*. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. Citado na página 30.

KARIMI, N. et al. Web-based monitoring system using Wireless Sensor Networks for traditional vineyards and grape drying buildings. *Computers and Electronics in Agriculture*, v. 144, p. 269–283, 2018. Citado na página 22.

KLUMP, J. V.; MARTENS, C. S. Biogeochemical cycling in an organic rich coastal marine basin—II. Nutrient sediment-water exchange processes. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v. 45, n. 1, p. 101–121, jan. 1981. ISSN 0016-7037. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0016703781902672>>. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 17.

KLUMP, J. V.; MARTENS, C. S. The seasonality of nutrient regeneration in an organic-rich coastal sediment: Kinetic modeling of changing pore-water nutrient and sulfate distributions. *Limnology and Oceanography*, v. 34, n. 3, p. 559–577, 1989. Citado na página 15.

KNOPPERS, B. et al. In situ measurements of benthic primary production, respiration and nutrient fluxes in a hypersaline coastal lagoon of SE Brazil. *Revista brasileira de oceanografia*, v. 44, n. 2, p. 155–165, 1996. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.

KOHLMANN, F. J. What is ph, and how is it measured, a technical handbook for industry. *Hach Company*, p. 1–22, 2003. Citado 2 vezes nas páginas 34 e 44.

LERMAN, A. Chemical exchange across sediment-water interface. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, v. 6, n. 1, p. 281–303, 1978. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 15.

LINDSAY, M. B. et al. Microbiology and geochemistry of mine tailings amended with organic carbon for passive treatment of pore water. *Geomicrobiology Journal*, Taylor & Francis, v. 28, n. 3, p. 229–241, 2011. Citado na página 14.

LOVETT, G. M. et al. Who needs environmental monitoring? *Frontiers in Ecology and the Environment*, v. 5, n. 5, p. 253–260, 2007. Citado na página 21.

MACHADO, E. C.; KNOPPERS, B. A. Sediment oxygen consumption in an organic-rich, subtropical lagoon, Brazil. *Science of the total environment*, v. 75, n. 2-3, p. 341–349, 1988. Citado na página 16.

MAIA, F. d. O.; MAIA, J. d. O. Estudo da estabilidade e de outras características de um dispositivo eletrônico para a calibração de eletrodos de medição de ph. *Encontro para a Qualidade de Laboratórios*, REMESP ^ eSão Paulo São Paulo, p. 1–6, 2005. Citado na página 24.

MONDAL, A.; MISRA, I. S.; BOSE, S. Building a low cost solution using wireless sensor network for agriculture application. In: *Innovations in Electronics, Signal Processing and Communication (IESC), 2017 International Conference on*. [S.l.]: IEEE, 2017. p. 61–65. Citado na página 22.

MURPHY, K. et al. A low-cost autonomous optical sensor for water quality monitoring. *Talanta*, Elsevier, v. 132, p. 520–527, 2015. Citado na página 18.

PEREIRA, B. D. A. Medidor de ph com calibração de ph e compensação automática de temperatura. 2016. Citado na página 45.

SARDELLA, A. Química, série novo ensino médio. *Volume único. São Paulo. Editora Ática*, 2000. Citado na página 34.

SILVA, A. R. Estudo da aplicação de redes neurais artificiais em unidade microcontrolada para monitoramento e previsão da qualidade do ar. <http://bd.centro.iff.edu.br/jspui/handle/123456789/2108>, 2018. Citado na página 23.

STROBL, R. O.; ROBILLARD, P. D. Network design for water quality monitoring of surface freshwaters: A review. *Journal of environmental management*, Elsevier, v. 87, n. 4, p. 639–648, 2008. Citado na página 18.

TITRATION, C. C. ph measurement technique. *Application Bulletin 188/4 e*. Citado na página 37.

TOLEDO, M. A guide to ph measurement—the theory and practice of laboratory ph applications. *Manual for pH-meter*, 2007. Citado na página 44.

## **Apêndices**

## APÊNDICE A – CÓDIGO

Listing A.1 – Código de Programação

---

```
1
2 //Bibliotecas Usadas
3 #include <SPI.h>
4 #include <SD.h>
5 #include <Wire.h>
6 #include <RtcDS3231.h>
7 #include <DallasTemperature.h>
8 #include <OneWire.h>
9 #include <ESP8266WiFi.h>
10 #include <WiFiClient.h>
11 #include <ESP8266WebServer.h>
12
13 //Definicao dos pinos do NodeMcu
14 #define D0 16
15 #define D1 5
16 #define D2 4
17 #define D3 0
18 #define D4 2
19 #define D5 14
20 #define D6 12
21 #define D7 13
22 #define D8 15
23
24 // Constante que indica em qual pino esta conectado o Chip Select do modulo de
    comunicacao
25 const int chipSelect = D3;
26
27 //Declaracao de variaveis usadas durante todo o programa
28 const int analogInPin = A0;
29 int sensorValue = 0;
30 bool cartaoOk = true;
31 unsigned long int avgValue;
32 float b;
33 int buf[10],temp;
34
35 //Definicao do Nome da Rede e sua senha de acesso gerada pelo Nodemcu
```

```
36 const char *ssid = "Belljar";
37 const char *password = "";
38 //Criacao uma variavel do tipo ESP8266WebServer que ja possui funcoes que
    auxiliam na criacao das rotas que o ESP8266 vai responder
39 ESP8266WebServer server(80);
40
41 //Configuracao da Comunicacao One Wire
42 #define ONE_WIRE_BUS D4
43 OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
44 DallasTemperature sensors(&oneWire);
45
46 //Configuracao do Cartao SD
47 File dataFile; // Objeto responsavel por escrever/Ler do cartao SD
48
49 //Configuracao do RTC
50 RtcDS3231<TwoWire> rtcObject(Wire);
51
52 void setup()
53 {
54     Serial.begin(115200); // Inicializacao da porta de comunicacao Serial
55
56     Serial.println();
57     Serial.print("Configurando o Ponto de Acesso...");
58     WiFi.softAP(ssid, password);
59
60     IPAddress myIP = WiFi.softAPIP();
61     Serial.print("AP Endereco IP: ");
62     Serial.println(myIP);
63     server.begin();
64     Serial.println("Servidor HTTP iniciado");
65
66     //Definicao de qual funcao sera executada para o caminho e tipo dado.
67     //Nesse caso quando houver uma requisicao http do tipo GET no caminho
        http://192.168.4.1/temperature a funcao getTemperature sera executada
68     server.on("/temperature", HTTP_GET, getTemperature);
69
70     //Mesmo caso acima, porem para a funcao getpH
71     server.on("/pH", HTTP_GET, getpH);
72
73     //Esta funcao retornara a pagina principal que mostrara os valores da
        temperatura e do pH e recarregara essas informacoes de tempos em tempos
74     server.on("/monitor", HTTP_GET, showMonitor);
```

```
75
76 //Caso o caminho que o cliente requisitou nao tenha sido registrado a funcao
    abaixo sera executada
77 server.onNotFound(onNotFound);
78
79 //Inicializacao do servidor criado na porta 80
80 server.begin();
81 Serial.println("Servidor HTTP iniciado");
82
83 // Inicializacao da comunicacao I2C
84 rtcObject.Begin();
85 RtcDateTime currentTime = RtcDateTime(2018,11,23,13,07,00); //Configuracao
    da Data e da Hora
86 rtcObject.SetDateTime(currentTime);
87
88 //Inicailizacao dos sensores
89 sensors.begin();
90
91 // Se nao for possivel se comunicar com o cartao SD o codigo nao deve
    prosseguir
92 if (!SD.begin(chipSelect)) {
93     Serial.println("Cartao SD nao instalado ou modulo nao conectado
        corretamente");
94     cartaoOk = false;
95     return;
96 }
97 }
98
99 void loop()
100 {
101     server.handleClient();
102
103     // Cartao SD OK? Entao, e criado um arquivo com o nome datalog.csv em modo
        de escrita
104     if (cartaoOk){
105         dataFile = SD.open("datalog.csv", FILE_WRITE);
106         Serial.println("Cartao SD Inicializado para escrita");
107     }
108
109     //Limpando Variaveis
110     String leitura = ""; // Limpo campo contendo string que sera armazenada em
        arquivo CSV
```

```
111
112 RtcDateTime currentTime = rtcObject.GetDateTime(); //Obtem a Data e Hora do
    RTC
113
114 char str1[20]; //declaracao de uma string como um vetor de caracteres
115 sprintf(str1, "%d:%d:%d", //%d permite imprimir um numero inteiro na
    string
116     currentTime.Hour(), //metodo de obtencao de hora
117     currentTime.Minute(), //metodo de obtencao de minuto
118     currentTime.Second() //metodo de obtencao de segundo
119 );
120
121 char str2[20];
122 sprintf(str2, "%d/%d/%d",
123     currentTime.Day(), //metodo de obtencao do dia
124     currentTime.Month(), //metodo de obtencao do mes
125     currentTime.Year() //metodo de obtencao do ano
126 );
127
128 sensors.requestTemperatures(); // Envio do comando para obter a
    temperatura
129 Serial.println("Temperature is: ");
130 Serial.println(sensors.getTempCByIndex(0)); // Como se pode ter mais que um
    sensor no barramento, entao o numero 0 refere se ao primeiro CI
    (circuito integrado)
131 delay(500);
132
133 //Nesse encadeamento de For o controlador realiza 10 leituras na entrada
    analogica e as ordenas em um buffer
134 for(int i=0;i<10;i++)
135 {
136     buf[i]=analogRead(analogInPin);
137     delay(10);
138 }
139 for(int i=0;i<9;i++)
140 {
141     for(int j=i+1;j<10;j++)
142     {
143         if(buf[i]>buf[j])
144         {
145             temp=buf[i];
146             buf[i]=buf[j];
```

```
147     buf[j]=temp;
148   }
149 }
150 }
151
152 // Nessa parte do software o programa descarta as duas primeiras e as duas
153     ultimas leituras e realiza uma media dos 6 valores intermediarios.
154 avgValue=0;
155 for(int i=2;i<8;i++)
156   avgValue+=buf[i];
157 float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6; //conversao do valor analogico em
158     valor digital
159 float pHValue = -8.20 * pHVol + 28.60; //Calculo da curva de leitura do pH
160 Serial.print("sensor = ");
161 Serial.println(pHValue);
162
163 // Se tudo estiver ok,os dados serao armazenados em uma String
164 leitura = String(str2) + ";" + String(str1) + ";" +
165     String(sensors.getTempCByIndex(0)) + ";" + String(pHValue) + ";";
166
167 // Se o arquivo estiver realmente aberto para leitura executa se:
168 if (dataFile) {
169   Serial.println(leitura); // Mostra no monitor a linha que sera escrita no
170     cartao SD
171   dataFile.println(leitura); // Realiza a escrita no arquivo
172   dataFile.close(); // Fecha o arquivo
173 }
174
175 delay(15000); // Aguardamos 15 segundos para executar o loop novamente
176 }
177
178 void onNotFound()
179 {
180   server.send(404, "text/plain", "Not Found" );
181 }
182
183 //Funcao que sera executada quando o cliente fizer uma requisicao do tipo GET
184     no caminho http://192.168.4.1/temperature
185 void getTemperature()
186 {
187   //Leitura da temperatura atraves do sensor de temperatura dallas
188   float t = sensors.getTempCByIndex(0);
```

```
184 //Cria um json com os dados da temperatura
185 String json = "{\"temperature\":\""+String(t)+"}";
186 //Envia o json para o cliente com o codigo 200, que e o codigo quando a
    requisicao foi realizada com sucesso
187 server.send (200, "application/json", json);
188 }
189
190 //Funcao que definimos que sera executada quando o cliente fizer uma
    requisicao do tipo GET no caminho http://192.168.4.1/pH
191 void getpH()
192 {
193     for(int i=0;i<10;i++)
194     {
195         buf[i]=analogRead(analogInPin);
196         delay(10);
197     }
198     for(int i=0;i<9;i++)
199     {
200         for(int j=i+1;j<10;j++)
201         {
202             if(buf[i]>buf[j])
203             {
204                 temp=buf[i];
205                 buf[i]=buf[j];
206                 buf[j]=temp;
207             }
208         }
209     }
210     avgValue=0;
211     for(int i=2;i<8;i++)
212     avgValue+=buf[i];
213     float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
214     float pHValue = -8.20 * pHVol + 28.60;
215     float h = pHValue;
216     //Cria um json com os dados do pH
217     String json = "{\"pH\":\""+String(h)+"}";
218     //Envia o json para o cliente com o codigo 200, que e o codigo quando a
    requisicao foi realizada com sucesso
219     server.send(200, "application/json", json);
220 }
221
```

```
222 //Funcao que definimos que sera executada quando o cliente fizer uma
      requisicao do tipo GET no caminho http://192.168.4.1/monitor
223 void showMonitor()
224 {
225     String html =
226     "<!DOCTYPE html>"
227     "<html lang=\"pt-br\">"
228
229     "<head>"
230         "<meta charset=\"UTF-8\"/>"
231         "<title>Belljar</title>"
232
233     "<style>"
234
235         "body {"
236             "background-color: #cecece ;"
237         "}"
238
239         "div#divtemp {"
240             "width: 200px;"
241             "line-height: 0px;"
242             "height:180px;"
243             "border-style: ridge;"
244             "border-color: gray;"
245             "border-width: 5px 5px 5px;"
246             "padding: 2px;"
247             "background-color: black;"
248             "float: left;"
249         "}"
250
251         "div#divph {"
252             "width: 200px;"
253             "line-height: 0px;"
254             "height:180px;"
255             "border-style: ridge;"
256             "border-color: gray;"
257             "border-width: 5px 5px 5px;"
258             "padding: 2px;"
259             "background-color: black;"
260             "float: left;"
261         "}"
262
```

```
263     "div#potred {"
264         "width: 200px;"
265         "line-height: 0px;"
266         "height:180px;"
267         "border-style: ridge;"
268         "border-color: gray;"
269         "border-width: 5px 5px 5px;"
270         "padding: 2px;"
271         "background-color: black;"
272         "float: left;"
273     "}"
274
275     "div#od {"
276         "width: 200px;"
277         "line-height: 0px;"
278         "height:180px;"
279         "border-style: ridge;"
280         "border-color: gray;"
281         "border-width: 5px 5px 5px;"
282         "padding: 2px;"
283         "background-color: black;"
284         "float: left;"
285     " }"
286
287     "div#condut {"
288         "width: 200px;"
289         "line-height: 0px;"
290         "height:180px;"
291         "border-style: ridge;"
292         "border-color: gray;"
293         "border-width: 5px 5px 5px;"
294         "padding: 2px;"
295         "background-color: black;"
296         "float: left;"
297     "}"
298
299     "h1 {"
300         "font-family: Arial;"
301         "font-size: 30pt;"
302         "color: #000000;"
303         "text-align: center;"
304         "text-shadow: 2px 2px 2px gray;"
```

```
305         "}"
306     "h2 {"
307         " font-family: Arial;"
308         "font-size: 20pt;"
309         "color: black;"
310         "text-align: center;"
311         "text-shadow: 2px 2px 2px gray;"
312     "}"
313
314     "h3 {"
315         "font-family: Arial;"
316         "font-size: 18pt;"
317         "color: #ffffff;"
318         "text-shadow: 2px 2px 2px gray;"
319     "}"
320
321     "p {"
322         " text-align: justify;"
323         "font-size: 15pt;"
324         "color: white;"
325         "text-indent: 10px;"
326     "}"
327
328
329     "</style>"
330
331 "</head>"
332
333 "<body>"
334     "<div id=\"medicao\">"
335         "<header id=\"cabecalho\">"
336             "<hgroup>"
337                 "<h1>Belljar Medicoes</h1>"
338                 "<h2>Sistema Autonomo</h2>"
339             "</hgroup>"
340         "</header>"
341
342         "<div id=\"divtemp\">"
343             "<h3>Temperatura</h3>"
344             "<p id=\"temperature\"></p>"
345         "</div>"
346
```

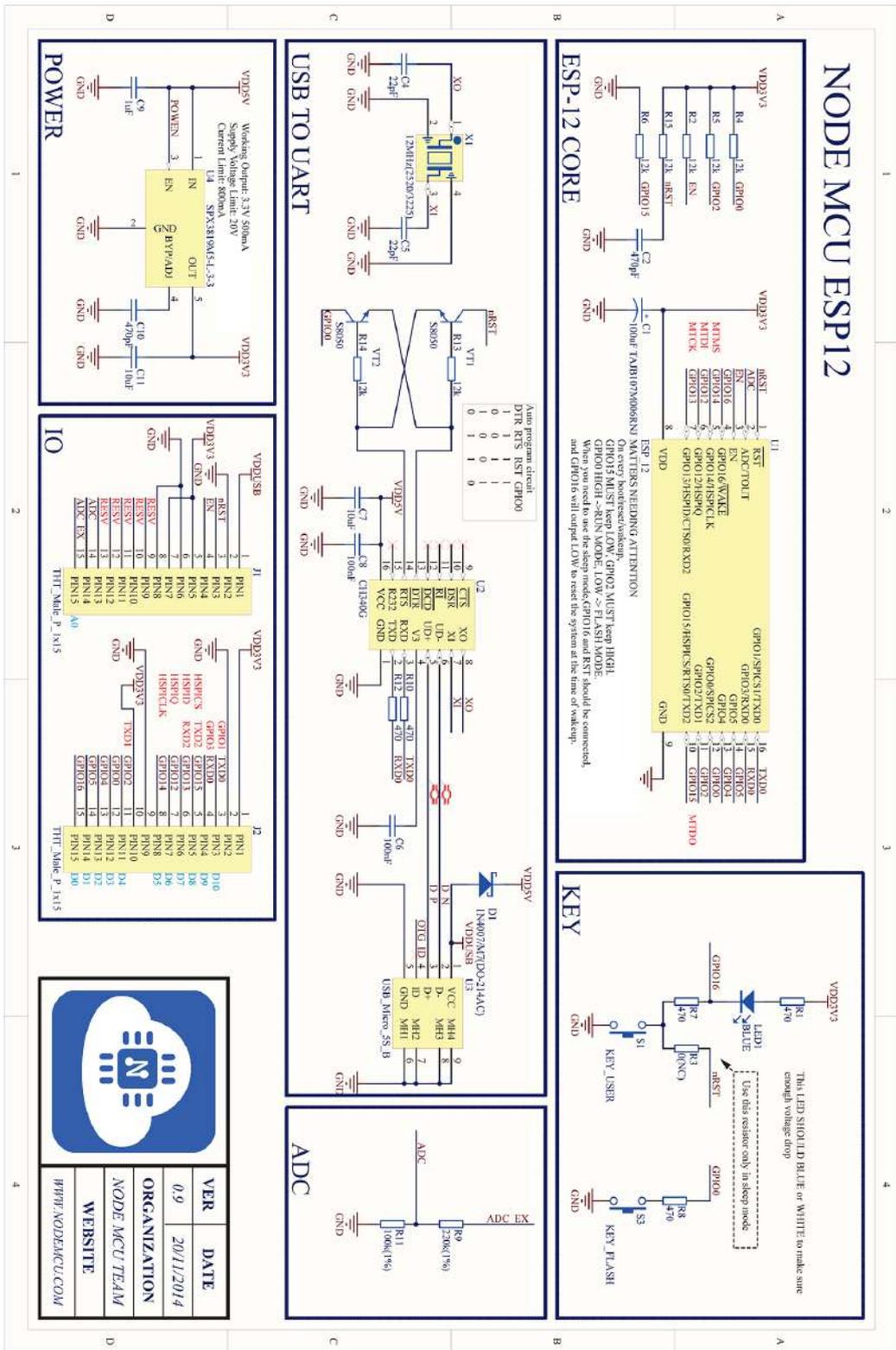
```
347     "<div id=\"divph\">"
348     "<h3>pH</h3>"
349         "<p id=\"pH\"></p>"
350     "</div>"
351
352     "<div id=\"potred\">"
353         "<h3>Eh</h3>"
354     "</div>"
355
356     "<div id=\"od\">"
357         "<h3>OD</h3>"
358     "</div>"
359
360     "<div id=\"condut\">"
361         "<h3>Condutividade</h3>"
362     "</div>"
363
364
365 "</div>"
366 "</body>"
367
368 "<script type='text/javascript'>"
369     "refresh();"
370     "setInterval(refresh, 5000);"
371     "function refresh()"
372     "{"
373     "refreshTemperature();"
374     "refreshpH();"
375     "}"
376     "function refreshTemperature()"
377     "{"
378     "var xmlhttp = new XMLHttpRequest();"
379     "xmlhttp.onreadystatechange = function() {"
380     "if (xmlhttp.readyState == XMLHttpRequest.DONE && xmlhttp.status == 200){"
381     "document.getElementById('temperature').innerHTML = 'Temperatura ' +
382         JSON.parse(xmlhttp.responseText).temperature + 'C';"
382     "}"
383     "};"
384     "xmlhttp.open('GET', 'http://192.168.4.1/temperature', true);"
385     "xmlhttp.send();"
386     "}"
387     "function refreshpH()"
```

```
388     "{"
389     "var xmlhttp = new XMLHttpRequest();"
390     "xmlhttp.onreadystatechange = function() {"
391     "if (xmlhttp.readyState == XMLHttpRequest.DONE && xmlhttp.status == 200){"
392     "document.getElementById('pH').innerHTML = 'pH ' +
        "        JSON.parse(xmlhttp.responseText).pH ;"
393     "}"
394     "};"
395     "xmlhttp.open('GET', 'http://192.168.4.1/pH', true);"
396     "xmlhttp.send();"
397     "}"
398     "</script>"
399 "</html>";
400
401 //Envia o html para o cliente com o codigo 200, que e o codigo quando a
        "        requisicao foi realizada com sucesso
402 server.send(200, "text/html", html);
403 }
```

---

## **Anexos**

# ANEXO A - DATASHEET ESQUEMÁTICO NODEMCU



**ANEXO B – DATASHEET SENSOR DE PH - SEN0161**



## PH meter(SKU: SEN0161)



Analog pH Meter Kit SKU: SEN0161



Analog pH Meter Kit SKU: SEN0169

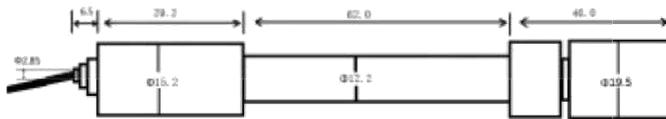
### Contents

- [1 Introduction](#)
- [2 Specification](#)
- [3 Precautions](#)

## Introduction

Need to measure water quality and other parameters but haven't got any low cost pH meter? Find it difficult to use with Arduino? Here comes an analog pH meter, specially designed for Arduino controllers and has built-in simple, convenient and practical connection and features. It has an LED which works as the Power Indicator, a BNC connector and PH2.0 sensor interface. You can just connect the pH sensor with BNC connector, and plug the PH2.0 interface into any analog input on Arduino controller to read pH value easily.

## Specification



### SEN0161 dimension

- Module Power: 5.00V
- Circuit Board Size: 43mm×32mm
- pH Measuring Range: 0-14
- Measuring Temperature: 0-60 °C
- Accuracy:  $\pm 0.1$ pH (25 °C)
- Response Time:  $\leq 1$ min
- pH Sensor with BNC Connector
- PH2.0 Interface ( 3 foot patch )
- Gain Adjustment Potentiometer
- Power Indicator LED

## Precautions

- Before and after use of the pH electrode every time, you need to use (pure)water to clean it.
- The electrode plug should be kept clean and dry in case of short circuit.
- **Preservation: Electrode reference preservation solution is the 3N KCL solution.**
- Measurement should be avoided staggered pollution between solutions, so as not to affect the accuracy of measurement.
- Electrode blub or sand core is defiled which will make PTS decline, slow response. So, it should be based on the characteristics of the pollutant, adapted to the cleaning solution, the electrode performance recovery.

- Electrode when in use, the ceramic sand core and liquid outlet rubber ring should be removed, in order to make salt bridge solution to maintain a certain velocity.

**NOTE: Differences between the probes, SEN0161 and SEN0169**

Their usages/ specifications are almost the same. The differences locates at

**Long-firing Operation:** SEN0169 supports, while SEN0161 NOT, i.e. you can not immerse SEN0161 in water for Continuous Testing.

**Life Span:** In 25 °C, pure water, do Continuous Testing with them both, SEN0169 can work two years, while SEN0161 can only last for 6 months. And just for reference, if put them in turbid, strongly acid and alkali solution, 25°C, the life span would drop to one year (SEN0169), 1 month(or shorter, SEN0161).  
Temperature, pH, turbidity of the water effect the probe life span a lot.

**Waterproof:** You can immerse the whole probe SEN0169 into the water, while you can only immerse the front part of the probe SEN0161, the electrode glass bulb, into water, the rear part, from the white shell to the cable, MUST NOT be under water.

**Strongly Acid and Alkali:** SEN0169 are preferred for strongly acid and alkali test. And if your testing range is usually within pH6~8, then SEN0161 is capable for that.

### pH Electrode Characteristics

The output of pH electrode is Millivolts, and the pH value of the relationship is shown as follows (25 °C):

VOLTAGE (mV)	pH value	VOLTAGE (mV)	pH value
414.12	0.00	-414.12	14.00
354.96	1.00	-354.96	13.00
295.80	2.00	-295.80	12.00
236.64	3.00	-236.64	11.00
177.48	4.00	-177.48	10.00
118.32	5.00	-118.32	9.00
59.16	6.00	-59.16	8.00
0.00	7.00	0.00	7.00

Before you insert the pH probe into one solution from another, or after you finish using the sensor, you must wash the pH electrode with pure water everytime (distilled water is the best)!

The closer **power supply** to +5.00V, the more accurate pH readings you could get. You have to immerse the pH probe into stationary solution instead of the running one to get relative stable pH readings.

How long should it be under the solution? It depends on the pH value, the closer to neutral solution (pH = 7.00), the longer it will take. As we tested in water pH = 6.0, the blue one costs 6 minutes, and in standard Acid/ Alkali (4.00/ 10.00) solutions, it only needs 10 seconds.