



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DE TUCURUÍ  
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA

GABRIEL BENTO ARAÚJO

**AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO DE ALFACE HIDROPÔNICA EM  
NFT COM O USO DO ARDUINO**

Tucuruí - PA

2021

GABRIEL BENTO ARAÚJO

**AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO DE ALFACE HIDROPÔNICA EM  
NFT COM O USO DO ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia Elétrica, do campus universitário de Tucuruí, Universidade Federal do Pará, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof<sup>o</sup> Dr<sup>o</sup> Washington César Braga de Sousa

Tucuruí - PA

2021

GABRIEL BENTO ARAÚJO

**AUTOMATIZAÇÃO DO SISTEMA DE CULTIVO DE ALFACE HIDROPÔNICA EM  
NFT COM O USO DO ARDUINO**

Trabalho de Conclusão de Curso, apresentado como requisito parcial para obtenção de grau de Bacharel em Engenharia Elétrica, pela Universidade Federal do Pará.

Data de aprovação: \_\_/\_\_/\_\_

**Banca Examinadora:**

---

**Prof. Dr. Washington César Braga de Sousa**

Faculdade de Engenharia Elétrica – UFPA

Orientador

---

**Prof. Dr. Daniel da Conceição Pinheiro**

Faculdade de Engenharia da Computação – UFPA

Membro da Banca

---

**Eng. Jhoanyn Valois Fantin Calvinho**

Faculdade de Engenharia Elétrica - UFPA

Membro da Banca

Tucuruí - PA

2021

*Este trabalho é dedicado aos meus pais e parentes por todo incentivo e ajuda para que isso torna-se realidade.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela vida, força, coragem e saúde concedida ao longo desse trabalho, por manter-me otimista e determinado a alcançar meus objetivos.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), mais especificamente a Faculdade de Engenharia Elétrica do campus de Tucuruí, onde aprendi muito e realizei o maior sonho da minha vida que é me tornar Engenheiro Eletricista.

Ao corpo docente que compõe a Faculdade de Engenharia da UFPA- campus Tucuruí pelos conhecimentos repassados durante esses cinco anos de curso.

Ao Professor Orientador Dr. ° Washington Sousa, pela dedicação, atenção, paciência e orientações realizadas durante a elaboração e execução do presente estudo.

À minha família: tios, tias, primos e primas, irmã. Mas especialmente a minha mãe Maria da Cruz Mesquita e minha avó Maria da Paixão Mesquita, que são as mulheres da minha vida, exemplo de força e perseverança. Amo vocês! E também ao meu tio Raimundo Nonato Mesquita, meu maior exemplo de profissional e sobretudo de PAI. Obrigada meu tio, por fazer papel de PAI para mim durante esses anos acadêmicos, não deixando faltar nada em minha mesa. Serei eternamente grato. Obrigada Família! Amo cada um de vocês!

À minha namorada Erika Pantoja, que esteve presente em minha vida por todos esses anos e me apoiou desde o início desse projeto. Te amo!

Aos meus amigos do curso pelos momentos vividos juntos em sala de aula, seja eles bons ou ruins. Sei que tudo isso contribuiu para o meu crescimento como ser humano e profissional.

Aos meus amigos presentes ou distantes, que estão sempre em meus pensamentos.

Por fim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

*“A primeira regra de qualquer tecnologia utilizada nos negócios é que a automação aplicada a uma operação eficiente aumentará a eficiência. A segunda é que a automação aplicada a uma operação ineficiente aumentará a ineficiência”.*

(Bill Gates).

## RESUMO

Este projeto foi desenvolvido com o propósito de apresentar um protótipo de sistema alternativo de cultivo hidropônico de alface em NFT automatizado. Para este fim, foi desenvolvido um modelo reduzido do sistema, o qual utiliza componentes eletrônicos de baixo custo como: relés (de 5V e 12V), motobombas de 5V, sensores (de pH, condutividade elétrica, nível de solução, luminosidade e temperatura) e um módulo Arduino para controle do sistema. Um ponto fundamental deste trabalho é que, visando a questão custo-benefício, desenvolveu-se um sensor de condutividade elétrica com componentes de baixo custo, projetado para atuar em uma faixa específica que atenda os parâmetros exigidos de condutividade elétrica da solução hidropônica utilizada no cultivo de alface. Após o desenvolvimento do sensor e do protótipo do sistema, foram realizados testes de monitoramento com a finalidade de definir parâmetros de atuação do sistema e validar o funcionamento do protótipo e do sensor de condutividade elétrica. O monitoramento foi realizado de duas formas: através da IDE do Arduino e também a partir de um módulo com display LCD acoplado diretamente ao sistema.

**Palavras – chave:** Automação, Arduino, Alface, Sistema de Cultivo Hidropônico, NFT, Sensores, Sensor de Condutividade Elétrica, Baixo Custo.

## ABSTRACT

This project was developed with the purpose of presenting the prototype of an alternative system for hydroponic lettuce cultivation in automated NFT. For this purpose, a reduced model of the system has been developed, which uses low-cost electronic components such as: relays (5V and 12V), 5V motor pumps, sensors (pH, electrical conductivity, solution level, brightness and temperature) and an Arduino module to control the systems. A key point of this work is that, aiming at the cost-benefit issue, low-cost components were used to implement an electrical conductivity sensor, which was designed to measure a specific electrical conductivity range that meets the required parameters of the hydroponic solution used in the cultivation of lettuce. After the development of the sensor and prototype of the system, monitoring tests were carried out in order to define system's performance parameters, and also validate the operation of the prototype and the electrical conductivity sensor. System monitoring is performed in two ways: through the Arduino IDE and also using an LCD display module directly connected to the system.

**KEYWORDS:** Automation, Arduino, Lettuce, Hydroponic System, NTF, Sensors, Electrical Conductivity Sensor, Low-Cost.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 01 - Estrutura externa (A) e interna (B) de uma Casa de Vegetação Hidropônica. <b>2Error! Bookmark not defined.</b>	
Figura 02 - Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).	22
Figura 03 - Estrutura do Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).	23
Figura 04 - Placa Arduino. Seta vermelha: Microcontrolador Atmel Atmega 328P. Retângulo verde: pinos analógicos. Retângulo azul: pinos digitais	27
Figura 05 - IDE.	27
Figura 06 - Sensor de pH 4502-C. Seta vermelha: sonda de pH. Seta azul: módulo eletrônico.	28
Figura 07 - Módulo eletrônico. Seta azul: pino P0. Seta preta: GND. Seta vermelha: alimentação 5v.	29
Figura 08 - Sensor de temperatura DS18B20.	29
Figura 09 - Sensor de nível d'água 90°. Seta vermelha: cilindro.	30
Figura 10 - Detalhe do ímã.	30
Figura 11 - Sensor de luz ambiente TEMA6000. Seta vermelha: Fototransistor.	31
Figura 12 - Funcionamento de um sensor de condutividade elétrica de soluções.	32
Figura 13 - Estrutura de uma célula com dois eletrodos.	33
Figura 14.- Sensor indutivo de condutividade elétrica.	34
Figura 15 - Funcionamento do sensor de condutividade elétrica indutivo	34
Figura 16 - Sensor com célula de dois eletretos.	35
Figura 17 - Medindo a tensão entre os dois eletrodos.	35
Figura 18 - Sensor com célula de quatro eletrodos.	36
Figura 19 - Configuração de um sensor com célula de quatro eletrodos.	36
Figura 20 - Efeito de polarização na superfície do eletrodo.	37
Figura 21 - Resistência de polarização.	38
Figura 22 - Efeito de campo.	39
Figura 23 - Condutividade da água do mar em função da temperatura.	39
Figura 24 - Oscilador com ponte de Wien.	40
Figura 25 - Malha de controle não linear.	42
Figura 26 - Circuito simulado.	45
Figura 27 - Sinal de saída.	45
Figura 28 - Circuito amplificador inversor.	46
Figura 29 - Circuito agrupado.	47

Figura 30 - Sinais defasados em 180°.	47
Figura 31 - Circuito montado.	48
Figura 32 - Sinais de saída do circuito no osciloscópio.	48
Figura 33 - Sinal de saída V <sub>in</sub> (CH1).	49
Figura 34 - Sinal de saída V <sub>out</sub> (CH2).	49
Figura 35 - Sonda de 4 eletrodos confeccionada	50
Figura 36 – Sonda sensor.	50
Figura 37 - Usando o sensor em um recipiente com água da torneira. Círculo vermelho: sonda de 4 eletrodos.	51
Figura 38 - Teste do sensor em água da torneira.	51
Figura 39 - Sinal contínuo (CH1) e sinal captado antes do detector de envoltoria (CH2).	52
Figura 40 - Amostra da solução hidropônica.	52
Figura 41 - Água mineral Mar Doce e Floratta.	53
Figura 42 - Teste do sensor de CE na água Floratta.	53
Figura 43 - Tensão analógica no IDE para água Floratta.	54
Figura 44 - Rótulo água Floratta.	54
Figura 45 - Teste do sensor de CE na água Mar Doce.	55
Figura 46 - Tensão analógica no IDE para água Floratta.	55
Figura 47 - Rótulo água Mar Doce.	56
Figura 48 - Condutividade elétrica da solução com o Condutivímetro.	56
Figura 49 - IDE. Retângulo vermelho: Leitura feita do sensor de condutividade. Seta azul: valor de tensão analógica medida no sensor de CE.	57
Figura 50 – Diagrama contendo as conexões e componentes utilizados.	59
Figura 51 - O protótipo experimental montado. Seta vermelha: recipiente à frente. Seta azul: recipiente atrás. Seta amarela: amostra da solução hidropônica. Seta verde: recipiente maior da solução hidropônica.	60
Figura 52 - Módulos relé de acionamento das Motobombas. Retângulo azul: módulos relé 5V. Retângulo vermelho: módulos relé 12V.	60
Figura 53 - Diagrama do circuito dos dois módulos relé 12V feito no Proteus.	61
Figura 54 - Configuração dos componentes. Seta azul: Arduino. Seta vermelha: led de com placa de advertência de temperatura elevada. Seta verde: display LCD. Seta amarela: fonte de alimentação. Seta laranja: sensor de condutividade.	62

Figura 55 - Valores dos sensores obtidos no serial. Seta azul: valores de temperatura instantânea, mínima e máxima. Seta vermelha: valor do sensor de pH. Seta amarela: valor de tensão analógica referente ao sensor de condutividade. Seta verde: condutividade elétrica. 64

Figura 56 – Valores dos sensores obtidos no Display LCD 65  
Figura 57 – Valores de pH obtido pelo PHmetro 65

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Lista de algumas vantagens e desvantagens da utilização do sistema hidropônico em alguma cultura.	20
Tabela 2 - Elementos químicos essenciais para as plantas.	24
Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de cada célula.	37
Tabela 4 - Análise dos resultados obtidos pelo sensor de CE.	57

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

**NFT:** Técnica de Fluxo Laminar de Nutrientes.

**SE:** Sistema Eletroeletrônico.

**CE:** condutividade elétrica

**CLP:** Controlador Lógico Programável

**MCEB:** Medidor de Condutividade Elétrica de Bolso

## LISTA DE SIMBOLOS

$G$ : Condutância.

$R$ : Resistência.

$\sigma$ : Condutividade.

$\rho$ : Resistividade.

$A$ : Área.

$l$  : Distância.

$R_{sol}$ : Resistência entre os eletrodos.

$R_{el}$ : Resistência de polarização dos eletrodos.

$\omega_0$ : Frequência Angular.

$C$ : Capacitor.

$f$  : Frequência de oscilação.

$V_l$ : Tensão de Entrada.

$V_0$ : Tensão de Saída.

$V_A$ : Tensão no nó A.

$V_B$ : Tensão no nó B.

$D_1$ : Diodo 1.

$D_2$ : Diodo 2.

$L_{(-)}$ : Limite de Nível Negativo.

$L_{(+)}$ : Limite de Nível Positivo.

$V_D$ : Tensão no Diodo.

## SUMÁRIO

<b>CAPITULO 1.</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>17</b>
<b>1.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>18</b>
<b>1.2</b>	<b>Objetivos Específicos.....</b>	<b>18</b>
<b>CAPITULO 2.</b>	<b>A PRODUÇÃO DE ALFACE E O SISTEMA HIDROPÔNICO..</b>	<b>19</b>
<b>2.1</b>	<b>Alface .....</b>	<b>19</b>
2.1.1	Produção de Alface no Brasil e no Estado do Pará.....	19
<b>2.2</b>	<b>Hidroponia.....</b>	<b>20</b>
2.2.1	Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).....	22
2.2.2	As Exigências Nutricionais do Alface para o Preparo da Solução Nutritiva Usada no NFT .....	23
<b>CAPITULO 3.</b>	<b>AUTOMAÇÃO PARA CULTURAS HIDROPÔNICAS .....</b>	<b>26</b>
<b>3.1</b>	<b>Conceitos Básicos sobre o Arduino .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2</b>	<b>Os Sensores: pH – 4502C, Temperatura DS18B20, Nível d’água 90° e de Luz Ambiente TEMT6000 .....</b>	<b>28</b>
3.2.1	O Sensor de pH – 4502C .....	28
3.2.2	O Sensor de Temperatura DS18B20 .....	29
3.2.3	O sensor de Nível d’água 90° .....	30
3.2.4	O Sensor de Luz Ambiente TEMT6000.....	31

<b>CAPITULO 4. O SENSOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA: PROJETO E CONFECÇÃO PARA USO ESPECIFICO EM SISTEMA NFT DE CULTIVO DE ALFACE .....</b>	<b>32</b>
<b>4.1 Construção do Circuito Utilizado no Sensor .....</b>	<b>39</b>
<b>CAPITULO 5. O SISTEMA ALTERNATIVO DE AUTOMAÇÃO PROPOSTO .....</b>	<b>58</b>
<b>5.1 Estrutura do Protótipo Experimental.....</b>	<b>59</b>
<b>5.2 Montagem e Configurações do Protótipo Experimental.....</b>	<b>61</b>
<b>CAPITULO 6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS .....</b>	<b>64</b>
<b>CAPITULO 7. CONCLUSÃO .....</b>	<b>66</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>67</b>
<b>APÊNDICES .....</b>	<b>71</b>
<b>Apêndice A .....</b>	<b>71</b>
<b>Apêndice B .....</b>	<b>73</b>
<b>Apêndice C .....</b>	<b>74</b>

## CAPÍTULO 1. INTRODUÇÃO

Em termos de saúde, a crescente procura por alimentos mais saudáveis vem predominando no mercado alimentício atual, em especial o das hortaliças. A alface é a hortaliça folhosa mais conhecida no mundo, no Brasil é considerada a mais importante e mais presente na alimentação dos brasileiros. Fatores como fácil adaptação a condições climáticas, curto ciclo, possibilidade de sucessivos cultivos no mesmo ano e facilidade de comercialização são decisivos para a preferência dos agricultores para o cultivo dessa hortaliça (FIGUEIRA, 2008). Isso reflete a importância econômica que essa planta representa, principalmente para o Brasil (SNA, 2020).

As técnicas relacionadas a hidroponia são as mais utilizadas no Brasil para o cultivo da alface, principalmente a técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT) (FAQUIN e FURLANI, 1999), onde fatores como exigências nutricionais, temperatura, pH da solução e luminosidade são controlados para garantir o perfeito desenvolvimento da planta (A HIDROPONIA, 2020).

De fato, a alface se adaptou facilmente a esse sistema de produção. Dessa forma, para atender a demanda do mercado e também reduzir os problemas no setor produtivo, o desenvolvimento e/ou aprimoramento de novos métodos de cultivos para otimizar a produtividade torna-se cada vez mais necessário (MONTEZANO e PIEL, 2006).

No Brasil, o sistema de cultivo agrícola tradicional, isto é, aquele feito em ambiente aberto e no solo, é o mais difundido. A grande desvantagem desse sistema é a exposição das culturas mais frágeis, como as hortaliças, às variações dos fatores abióticos (temperatura, umidade, chuva, vento) e a exposição a pragas e/ou doenças, o que pode comprometer a produção e culminar em grandes prejuízos financeiros.

Uma alternativa a esse sistema vem ser o cultivo em ambiente fechado, como a técnica de hidroponia NFT que dispensa o uso do solo, porém precisa ter o total controle do ambiente interno (luminosidade, temperatura, pH dentre outros parâmetros) para garantir o desenvolvimento da cultura, o que exige tempo e muito cuidado para evitar falhas nesse controle. As plantações em hidroponia muitas vezes não se desenvolvem devido à falta de conhecimento dos produtores sobre o aspecto nutricional da planta nesse tipo de cultivo, o qual exige formulação e dosagem precisa da solução nutritiva (BRITO NETO et al., 2015).

Diante disso, percebe-se o importante papel da automatização do processo de manejo da técnica NFT, permitindo o controle mais preciso do ambiente interno e evitando erros, com o

intuito de facilitar a rotina de trabalho do produtor rural. Ademais, o aprimoramento dessa técnica de cultivo pela automatização poderá ter grande importância para possíveis implementações em fazendas de cultivos de hortaliças, na intenção de facilitar a produção em larga escala, principalmente nas regiões com os menores índices de produtividade, por exemplo, nos estados da região Norte do país (IBGE, 2006).

## 1.1 Objetivo Geral

É neste contexto que a proposta deste trabalho surge. O objetivo principal deste trabalho é construir o protótipo de um sistema hidropônico NFT alternativo para o cultivo automatizado de alface. Será utilizada a técnica NFT para o cultivo, porém incrementando um Sistema Eletroeletrônico (SE) com o uso do Arduino e sensores que visam monitorar e controlar os parâmetros necessários ao desenvolvimento da hortaliça.

## 1.2 Objetivos Específicos

- Implementar o SE.
- Construir um protótipo de um sistema de hidrôponia NFT automatizado com o uso da plataforma Arduino.
- Elaborar a montagem e testes dos experimentos propostos.
- Analisar o funcionamento do SE de acordo com os parâmetros preestabelecidos.
- Analisar os dados através dos valores obtidos pelos sensores que serão utilizados que são: sensor de pH-4502C, sensor de temperatura DS18B20, sensor de luz ambiente TEMA6000 e sensor de nível d'água 90°.
- Projetar um sensor de condutividade elétrica simplificado para a solução hidropônica de acordo com os parâmetros exigidos no cultivo NFT de alface, e analisar os dados através dos valores obtidos.
- Apresentar os resultados e as devidas conclusões.

## CAPÍTULO 2. A PRODUÇÃO DE ALFACE E O SISTEMA HIDROPÔNICO

### 2.1 Alface

A alface, de nome científico *Lactuca sativa* L., é uma hortaliça folhosa que pertence à família Asteraceae. Historicamente, originou-se na Ásia e foi trazida ao Brasil pelos portugueses no século XVI. É um vegetal de consumo popular em todo o mundo, inclusive no Brasil, pois é conhecido como fonte de vitaminas A e C, além de minerais como ferro e fósforo; e suas sementes são ricas em vitamina E, e também são usadas na produção de óleo. O consumo dessa hortaliça pode ser possível durante todo o ano, pois pode ser cultivada no campo e em estufas (VRIES, 1997; FURLANI et al. 1999).

#### 2.1.1 Produção de Alface no Brasil e no Estado do Pará

De acordo com dados oficiais da Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), o Brasil ocupa o 13º lugar no *ranking* mundial dos maiores produtores de vegetais (CAMARGO FILHO e CAMARGO, 2017). Segundo a Associação Brasileira do Comércio de Sementes e Mudas (ABCSEM), dos vegetais produzidos em território brasileiro, as hortaliças destacam-se por sua produção de 20 milhões de toneladas ao ano (SNA, 2020). Isso traz impactos diretos na economia, movimentando anualmente cerca de 55 bilhões de reais (SNA, 2020).

Dentre os principais vegetais cultivados no Brasil, os quais são batata, tomate cebola, melancia, cenoura, batata doce e couve (CAMARGO FILHO e CAMARGO, 2017), a alface se destaca como a hortaliça folhosa mais comercializada e consumida, tendo, portanto, uma grande importância econômica (EMBRAPA, 2011). Estima-se que 66,3 mil estabelecimentos brasileiros fazem o cultivo da alface, produzindo cerca de 525,6 mil toneladas. Grande parte dessa produção está no sudeste do país, especificamente nos estados de São Paulo (31,3%) e Rio de Janeiro (27,28%). A região Norte é responsável pela menor produção, cerca de 10,3 mil toneladas, no entanto entre os estados que a compõem, o Pará se destaca por constituir mais da metade dessa produção (66,1%) (IBGE, 2006).

No estado do Pará, a produção de alface juntamente com outras hortaliças (jambú, coentro e cebolinha) é realizada principalmente por produtores periurbanos em pequenas áreas

agrícolas, abastecendo a capital e as principais cidade da mesorregião do Nordeste do estado (HOMMA et al., 2011).

## 2.2 Hidroponia

No Brasil, o cultivo da alface pode ser realizado de forma tradicional, orgânico ou hidropônico, cada uma apresenta características diferentes na produção (MIYAZAWA et al., 2001; SANTANA et al., 2006). A agricultura tradicional é o sistema mais empregado no Brasil, o qual compreende o cultivo em campo aberto, isto é, diretamente no solo sem proteção contra os fatores abióticos (temperatura, volume excessivo de chuvas, ventos, etc.) que interferem no crescimento e desenvolvimento da planta. A exposição a esses fatores abióticos pode favorecer o surgimento de pragas e doenças (ANDRIOLO, 2017).

O cultivo da alface também pode ocorrer em ambiente protegido e, nesse caso, se dar em estruturas como estufas. A hidroponia (do grego: hydro – água e ponos – trabalho) é uma forma de cultivo protegido (ANDRIOLO, 2017). Nesse sistema, a planta é cultivada sem a utilização do solo, onde todos os nutrientes que necessita para se desenvolver são fornecidos por uma solução nutritiva basicamente composta por: água, nitrogênio, potássio, fósforo, magnésio e dentre outros (FURLANI et al., 1999; ANDRIOLO, 2017).

As vantagens relacionadas ao plantio dos sistemas hidropônicos são inúmeras quando comparadas ao cultivo convencional, apesar de ter alguns pontos referentes ao sistema que traz algumas desvantagens (tabela 1) (ALBERONI, 1998).

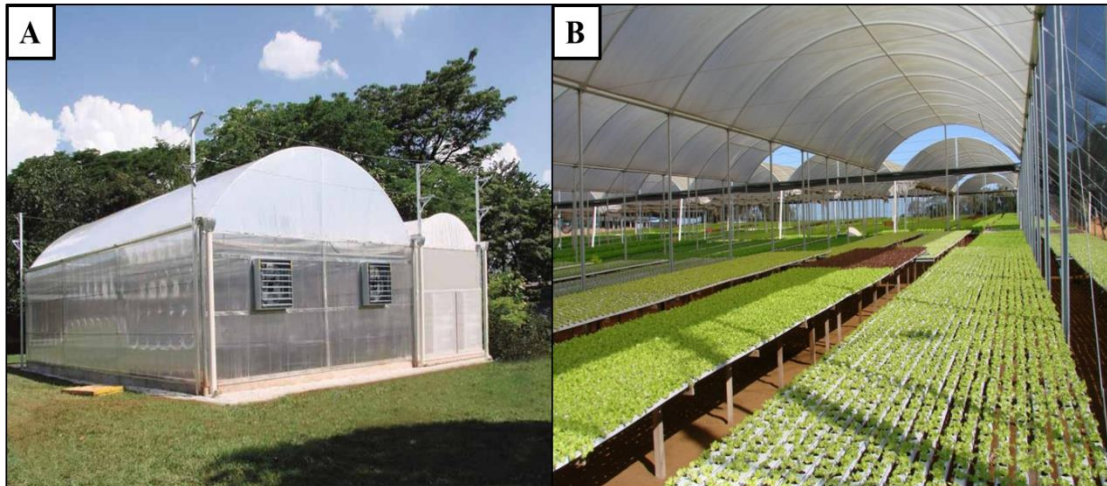
Tabela 1 - Lista de algumas vantagens e desvantagens da utilização do sistema hidropônico em alguma cultura.

Vantagens	<b>Alta produtividade e colheita precoce</b>
	Maior proteção contra doenças e pragas (insetos e ervas daninhas)
	Ambiente controlado e livre dos efeitos climáticos externos
	Menor uso de agrotóxico
	Economia de até 70% do uso de água
	Trabalho mais leve e limpo
	Menor uso de mão-de-obra
	Maior tempo de prateleira
Desvantagens	Maior investimento financeiro inicial
	Necessidade de conhecimentos técnicos
	Dependência de energia elétrica
	Uso de gerador de energia próprio

Fonte: ALBERONI, 1998.

O cultivo hidropônico em ambiente fechado é constituído de uma casa de vegetação (ou estufa), um sistema hidráulico e um conjunto de equipamentos ou instrumentos para monitorar a solução nutritiva e as condições do ambiente interno (Figura 1) (CARRIJO e MAKISHIMA, 2000).

Figura 1 - Estrutura externa (A) e interna (B) de uma Casa de Vegetação Hidropônica.



Fonte: A) AGRIESTUFA – Casa de vegetação climatizada; B) AGRIESTUFA – Hidroponia.

De maneira geral, a agricultura na região amazônica encontra dificuldades de se desenvolver, principalmente devido a questões como condições climáticas predominantes (temperaturas altas, elevada precipitação pluviométrica, alta umidade, maior fotoperíodo), surgimento de pragas e baixa fertilidade do solo. Tudo isso afeta negativamente a produtividade e a qualidade da hortaliça, além de aumentar a quantidade de insumos usados na produção, elevando o custo financeiro (BARROS et al., 2001).

No entanto, estudos mostram que a implementação do cultivo hidropônico na Amazônia possui grande possibilidade de suprir a demanda por hortaliças existente nessa região, o que a torna independente dos fornecedores externos, como São Paulo, para seu abastecimento (ALFAMA, 2008). Assim, especificamente no estado do Pará, a produção hidropônica comercial de alface na década de 90, na vila APEÚ, município de Castanhal, onde era realizada em bancadas com telhas de amianto cobertas com cascalho. Posteriormente, o cultivo hidropônico foi se expandido para outros municípios como Ananindeua, Benevides, Santa Isabel e Castanhal, porém com a utilização da técnica NFT (LOPES et al., 2001).

### 2.2.1 Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT)

No Brasil, o sistema hidropônico predominante para o cultivo da alface utiliza a técnica do Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT- *Nutrient Film Technique*) (FAQUIM e FURLANI; 1999), que se destaca pela praticidade na implantação da cultura, pela redução de mão-de-obra e pela qualidade do produto final colhido, o qual vem em um alto padrão de limpeza, agregando maior valor (ANDRIOLO et al., 2004).

Nessa técnica, as plantas são cultivadas dentro de canais sobre uma fina lâmina de solução nutritiva que circula por suas raízes, com frequência e turnos programados (Figura 2) (ANDRIOLO, 1999). Portanto, não há necessidade de materiais, como pedras, areia, palha de arroz queimada dentre outros, dentro dos canais, e as raízes ficam apenas parcialmente submersas para não prejudicar a respiração normal das mesmas (BEZERRA NETO, 2011).

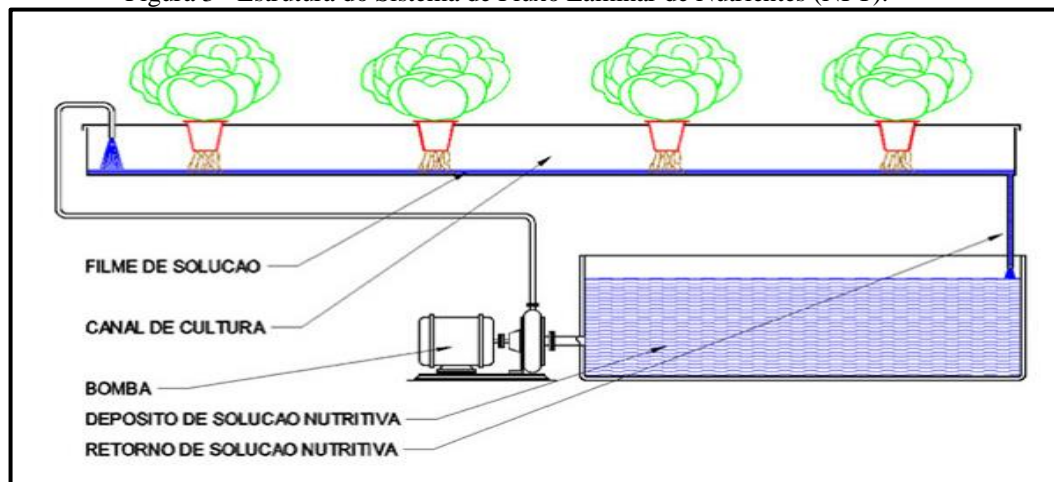
Figura 2 - Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).



Fonte: VAL, 2018.

Com relação a estrutura, o sistema NFT é composto por: um reservatório de solução nutritiva; um sistema de bombeamento que promove a circulação da solução nutritiva por todo o sistema; e por canais de cultivo que geralmente são feitos com canos PVC (ANDRIOLO, 1999) (Figura 3).

Figura 3 - Estrutura do Sistema de Fluxo Laminar de Nutrientes (NFT).



Fonte: ALBERTO, 2013.

O cálculo da capacidade do reservatório de solução nutritiva é feito em função da espécie a ser cultivada, e do número de plantas. Para a alface, pode-se considerar a necessidade de 0,5 litros a 1,5 litros por planta, por dia (CARRIJO e MAKISHIMA, 2000).

Para o controle e monitoramento do cultivo protegido, são necessários equipamentos de medição e avaliação dos parâmetros exigidos, como temperatura do ambiente, temperatura da solução e acidez e condutividade elétrica da solução. Também é necessário o uso de um temporizador para controle do funcionamento da bomba. O tempo de circulação da solução deve ser em intervalos de 15 minutos de bomba ligada e 15 minutos desligada, no horário das 6:00 às 18:00 horas do dia, e durante a noite 15 minutos ligado e 3-4 horas desligado (FAQUIN e FURLANI; 1999).

### 2.2.2 As Exigências Nutricionais do Alface para o Preparo da Solução Nutritiva Usada no NFT

De forma geral, as plantas necessitam de um grande número de nutrientes para o seu desenvolvimento. Muitos desses nutrientes são elementos químicos considerados essenciais ou intrínsecos para a estrutura e metabolismo da planta; e a falta de algum pode ocasionar anormalidades severas no crescimento, no desenvolvimento e na reprodução, impedindo que a planta complete seu ciclo de vida. A tabela 2 mostra os elementos essenciais para maioria das plantas, frisando que os três primeiros elementos (hidrogênio, carbono e oxigênio) não são considerados nutrientes minerais, pois são obtidos através da água ou do dióxido de carbono, sendo nutrientes orgânicos (BROCH e RANNO, 2008).

Vale ressaltar que esses nutrientes estão separados em macronutrientes e micronutrientes. Os macronutrientes são os elementos que as plantas precisam em maior

quantidade, pois estão envolvidos no crescimento geral (fruto, raiz, semente e folhas). Já os micronutrientes são necessários em menor quantidade, sendo componentes importantes de muitos processos enzimáticos (CARRASCO, 1996).

Tabela 2 - Elementos químicos essenciais para as plantas.

Elemento	Símbolo Químico	Forma Disponível
Macronutrientes		
Hidrogênio	H	H <sub>2</sub> O
Carbono	C	CO <sub>2</sub>
Oxigênio	O	O <sub>2</sub> , CO <sub>2</sub>
Nitrogênio	N	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>
Potássio	K	K <sup>+</sup>
Cálcio	Ca	Ca <sup>2+</sup>
Magnésio	Mg	Mg <sup>2+</sup>
Fósforo	P	H <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> , HPO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Enxofre	S	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Silício	Si	SiO <sub>2</sub>
Micronutrientes		
Cloro	Cl	Cl <sup>-</sup>
Boro	B	BO <sub>3</sub> <sup>3-</sup>
Ferro	Fe	Fe <sup>2+</sup> , Fe <sup>3+</sup>
Manganês	Mn	Mn <sup>2+</sup>
Sódio	Na	Na <sup>+</sup>
Zinco	Zn	Zn <sup>2+</sup>
Cobre	Cu	Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup>
Níquel	Ni	Ni <sup>2+</sup>
Molibdênio	Mo	MoO <sub>4</sub>

Fonte: FILHO et al., p. 72.

Na agricultura convencional, o solo é responsável pelo fornecimento de todos esses nutrientes. Em contrapartida, no sistema hidropônico NFT esses elementos nutritivos são fornecidos ao cultivares através de uma solução nutritiva contendo todos esses elementos químicos indispensáveis para o desenvolvimento das plantas, preparada com sais fertilizantes ou adubos químicos (BRITO NETO et al, 2015).

Esses nutrientes devem ser fornecidos de forma balanceada, de acordo com o ciclo de desenvolvimento das culturas, evitando perdas, deficiências e excessos. Por tanto é necessário muita atenção e cuidado. Se acaso ocorra um desequilíbrio da solução nutritiva, facilmente pode ser corrigida, devido ao fato de os nutrientes serem previamente dissolvidos, ao contrário do que seria no solo (OHSE et al., 2001).

Além da questão nutritiva, a condutividade elétrica e o pH da solução são fatores fundamentalmente importantes para o bom funcionamento da hidroponia (BRITO NETO et al, 2015). A condutividade elétrica permite monitoração da quantidade de nutrientes ainda presente na solução através da medição da quantidade de íons dissolvidos na solução, ou seja, quanto mais íons na solução, menor será a resistência elétrica e maior será a condutividade. O pH da solução nutritiva pode ser ácido, neutro ou básico. Os vegetais toleram pHs abaixo de 5,5 e acima de 6,5. Porém, o pH neutro é o ideal para os cultivos vegetais, o que ajuda no perfeito crescimento dos cultivos (BRITO NETO et al, 2015 apud ALBERONI, 1998).

### **CAPÍTULO 3. AUTOMAÇÃO PARA CULTURAS HIDROPÔNICAS**

De modo geral, a automação é o uso de técnicas mecânicas e elétricas para executar algum processo, geralmente visando a diminuição dos custos e o aumento na produtividade (BRITO NETO et al., 2015 apud SOUZA, 2003). Diante disso, percebe-se a importância da automação na hidroponia, que além de reduzir os gastos financeiros, também pode proporcionar uma maior produtividade e melhor qualidade do produto final (BRITO NETO et al., 2015).

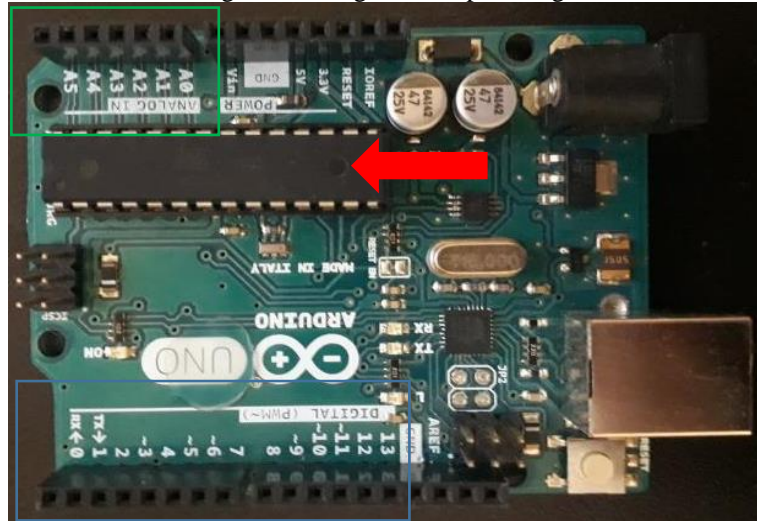
Para a montagem de um sistema hidropônico automatizado, é necessário se atentar a algumas variáveis essenciais a serem controladas, tais como: temperatura, importante por afetar as funções metabólicas das plantas; umidade que afeta a transpiração das plantas; luminosidade que afeta o processo de fotossíntese; e qualidade da solução nutritiva que proporciona o eficaz desenvolvimento dos cultivares (MURGUERO JUNIOR et al., 2016).

#### **3.1 Conceitos Básicos sobre o Arduino**

O Arduino foi criado no *Ivrea Interaction Design Institute* como uma ferramenta fácil para prototipagem rápida. A placa arduino é uma plataforma eletrônica de código aberto baseada em hardware e software fáceis de usar (ARDUINO, 2018), ela é capaz de ler entradas de dados diferentes, através de sensores, e responder com níveis de tensão nos pinos programados como saída, podendo controlar diversos equipamentos eletro/eletrônicos.

A placa Arduino é composta por um microcontrolador Atmel embutido com circuitos auxiliares como pinos analógicos e digitais que podem ser programados como entradas ou saídas de dados, ela possui uma linguagem de programação própria (baseada em C/C++) e que é programado via IDE (Integrated Development Environment ou Ambiente de desenvolvimento integrado) (THOMSEN, 2014), compatível para *Windows*, *Macintosh OSX* e *Linux*. As figuras 4 e 5 exibem a placa arduino e o (IDE), respectivamente.

Figura 4 - Placa Arduino. Seta vermelha: Microcontrolador atmel atmega 328P. Retângulo verde: pinos analógicos. Retângulo azul: pinos digitais



Fonte: Autor, 2020.

Figura 5 - IDE.

sketch\_dec12a | Arduino 1.8.8 (Windows Store 1.8.19.0)

Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

```

void setup() {
  // put your setup code here, to run once:
}

void loop() {
  // put your main code here, to run repeatedly:
}

```

Fonte: Autor, 2020.

Como mostra a figura 5, o IDE apresenta dois ambientes de programação: setup e loop. A função setup é chamada uma vez sempre quando é executado o programa, é usada para definir os pinos de entrada e saída, inicial o serial dentre outras funções, é escrita sua programação entre chaves ({}). Após a execução do setup, o loop é chamado e se repete continuamente, o programa começa logo após a abertura da chave ({}), e o processador vai executando as linhas de código até chegar à chave de fechamento (}). Uma vez chegado ao fim, ele retorna para a primeira linha do loop e começa tudo de novo (ARDUINO, 2018).

## 3.2 Os Sensores: pH-4502C, Temperatura DS18B20, Nível D'água 90° e de Luz Ambiente TEMT6000

### 3.2.1 O Sensor de pH-4502C

Os valores de medição de pH variam entre 0 e 14, onde pH 0 será muito ácido, pH 7 será neutro e pH 14 muito básica (pH, 2020). O sensor de pH – 4502C é capaz de medir a faixa de pH que vai de 0 a 14, o conjunto do sensor demonstrado na figura 6 é composto por uma sonda de pH com conector BNC e um módulo eletrônico que faz intermediação com Arduino ( USINAINFO, 2020).

Figura 6 - Sensor de pH 4502-C. Seta vermelha: sonda de pH. Seta azul: módulo eletrônico.



Fonte: USINAINFO – sensor de pH Arduino+ módulo de leitura, 2020.

Em especial, o módulo eletrônico possui um pino chamado PO (Figura 7) que se trata de um pino de saída analógica, esta placa tem capacidade de fornecer uma saída de tensão analógica de 0 a 5v que representará o valor de pH de 0 a 14 (ATLASSCIENTIFIC, 2020).

Figura 7 - Módulo eletrônico. Seta azul: pino P0. Seta preta: GND. Seta vermelha: alimentação 5v.



Fonte: USINAINFO - sensor de pH Arduino+ módulo de leitura, 2020.

### 3.2.2 O Sensor de Temperatura DS18B20

O sensor DS18B20 (Figura 8) é um sensor de temperatura da Dallas/Maxim com saída digital programável de 9 a 12 bits, a comunicação do sensor com o microcontrolador se dá sobre um barramento de um único fio (com o terra), possui 3 pinos, um do sinal (amarelo), de alimentação de 3 a 5.5v (vermelho) e o GND (preto), a temperatura de operação é de -55 a +125 C° (DALLAS, 2020).

Figura 8 - Sensor de temperatura DS18B20.



Fonte: FELIPEFLOP, 2020.

### 3.2.3 O Sensor de Nível D'água 90°

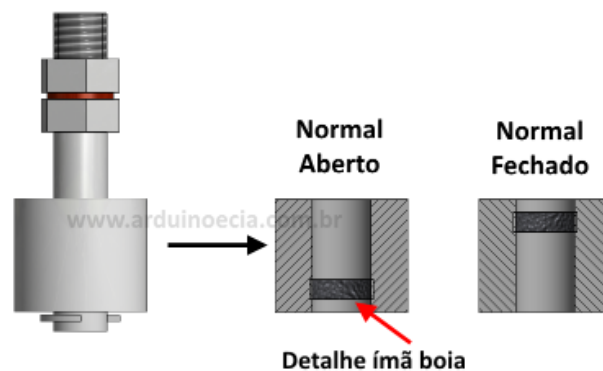
Este sensor é similar a uma boia (Figura 9), é composto por uma haste no qual desliza um cilindro que flutua na água, dentro do cilindro possui um ímã que aciona um sensor magnético que fica no meio da haste (Figura 10) e com isso fechando contato com 2 fios que saem do sensor, possibilitando assim ter contato normalmente aberto ou fechado (ARDUINO E CIA, 2014).

Figura 9 - Sensor de nível d'água 90°. Seta vermelha: cilindro.



Fonte: ELETROGATE, 2020.

Figura 10 - Detalhe do ímã.

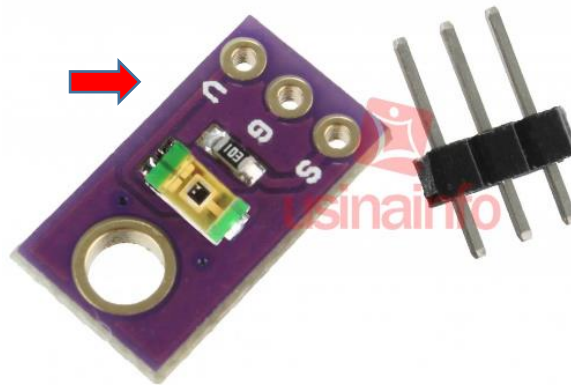


Fonte: ARDUINO E CIA, 2014.

### 3.2.4 O Sensor de Luz Ambiente TEMT6000

O sensor é um Fototransistor do tipo NPN (Figura 11), muito mais preciso que os conhecidos LDRs (resistores dependentes de luz), é uma ferramenta muito eficaz na detecção de luz ambiente. Seu modo de funcionamento é bem simples, ele possui uma saída analógica que varia de acordo com a intensidade da luz presente, ou seja, quanto maior a iluminação maior será o valor de tensão na saída analógica e vice-versa (VISHAY, 2011).

Figura 11 - Sensor de luz ambiente TEMT6000. Seta vermelha: Fototransistor.



Fonte: USINAINFO – sensor de luz ambiente TEMT6000, 2020.

Como pode-se perceber na Figura 11 ele possui 3 pinos: pino de alimentação de 3 a 5.5v, pino GND e o de sinal.

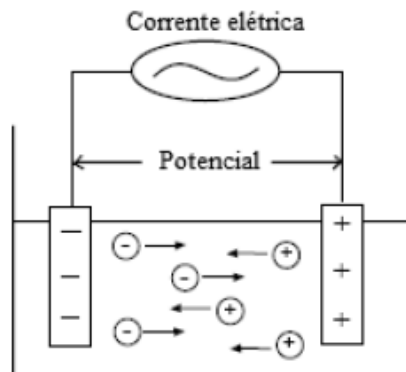
## CAPÍTULO 4. O SENSOR DE CONDUTIVIDADE ELÉTRICA: PROJETO E CONFECÇÃO PARA USO ESPECIFICO EM SISTEMA NFT DE CULTIVO DE ALFACE

A condutividade elétrica é o parâmetro de medição do caráter elétrico dos materiais, ou seja, é a medida de propagação de corrente elétrica de um material. Em soluções (e no solo) a corrente se propaga através do movimento dos íons positivo e negativos (cátions e ânions respectivamente), enquanto nos metais a corrente se propaga pelos elétrons que se deslocam entre as camadas de valência dos átomos (DO VAL et al, 2013).

Com base nos estudos feitos por Do Val et al (2013) e Ramos et al. (2006) a capacidade de uma solução conduzir corrente elétrica depende da presença de íons e da temperatura da mesma. Sendo assim, sempre que exista a presença de um campo elétrico, os íons migram através da solução com a seguinte orientação do movimento: os cátions migrarão em direção ao potencial negativo e os ânions ao potencial positivo (DO VAL et al., 2013). Baseado em (RAMOS et al., 2006).

É possível identificar a condutividade elétrica de uma solução aplicando uma corrente alternada em dois eletrodos submersos na solução e em seguida aferi a tensão resultante entre os eletrodos. Neste processo os ânions e cátions serão atraídos para o eletrodo positivo e negativo, respectivamente, assim conduzindo corrente na solução como representado na Figura 12.

Figura 12 - Funcionamento de um sensor de condutividade elétrica de soluções.



Fonte: DO VAL et al., 2013, p. 151.

A condutância ( $G$ ) é denominada como o inverso da resistência ( $R$ ) e a condutividade ( $\sigma$ ) é o inverso da resistividade ( $\rho$ ), respectivamente (DO VAL et al. 2013). Essas grandezas são definidas por:

$$G = \frac{1}{R},$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho},$$

A resistividade é denominada como (Sophocleous, 2017),

$$\rho = \frac{RA}{l},$$

logo

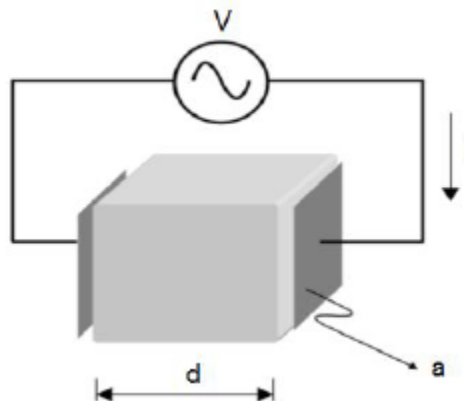
$$\sigma = \frac{l}{RA},$$

ou

$$\sigma = G \frac{l}{A},$$

onde  $A$  a área da secção reta entre os eletrodos e  $l$  é a distância entre os dois eletrodos, como mostra a Figura 13. A unidade da condutividade no *SI* é *S/m*.

Figura 13 - Estrutura de uma célula com dois eletrodos.



Fonte: FUJIWARA, 2015, p. 26.

Existem dois tipos de aparelhos de medição de condutividade elétrica no mercado: sensor indutivo e sensor com eletrodo.

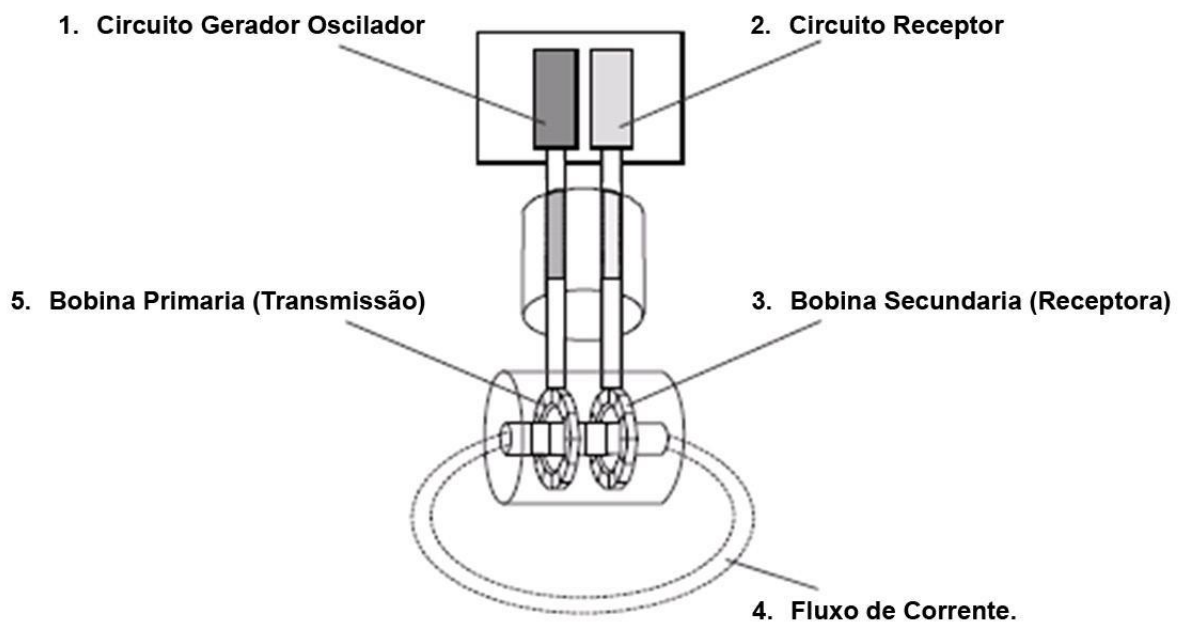
O medidor de condutividade com sensor indutivo (Figura 14) contém uma bobina de transmissão e recepção no interior da sonda, um gerador oscilador transmite um campo magnético alternado na bobina de transmissão, induzindo tensão na solução ionizada, em seguida os cátions e ânions começam a se mover gerando uma corrente alternada, o que induz outro campo magnético, assim conduzindo uma corrente elétrica na bobina do receptor que é medida através da sua amplitude, sendo proporcional à condutividade da solução (figura 15) (ENDRESS+HAUSER, 2018).

Figura 14.- Sensor indutivo de condutividade elétrica.



Fonte: ENDRESS+HAUSER, 2018, p.1.

Figura 15 - Funcionamento do sensor de condutividade elétrica indutivo



Fonte: ENDRESS+HAUSER, 2018, p. 2.

O medidor de condutividade com sensor de eletreto é composto por duas configurações diferentes de célula (sonda): a célula com dois eletretos e a célula com quatro eletretos.

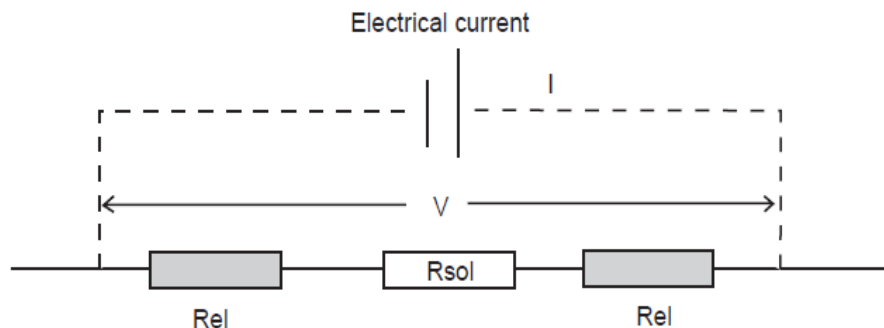
O sensor com célula de dois eletretos (Figura 16) funciona aplicando uma corrente alternada nos dois eletrodos e depois mede-se a tensão resultante entre eles (SAS, 2004), exemplificado na Figura 17.

Figura 16 - Sensor com célula de dois eletretos.



Fonte: ENDRESS+HAUSER, 2014, p. 1.

Figura 17 - Medindo a tensão entre os dois eletrodos.



Fonte: SAS, 2004, p. 11.

O objetivo é medir a resistência  $R_{sol}$ , sendo  $R_{el}$  a resistência de polarização dos eletrodos (SAS, 2004).

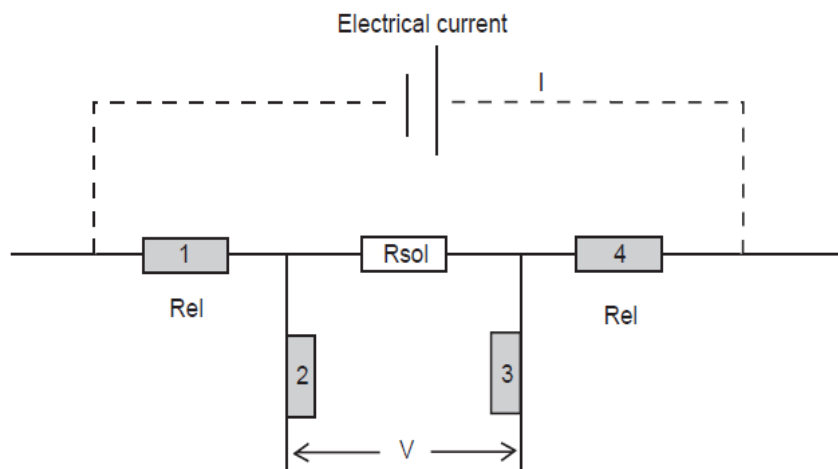
Figura 18 - Sensor com célula de quatro eletrodos.



Fonte: ENDRESS+HAUSER, 2017, p. 1.

O sensor com célula de quatro eletrodos (Figura 18) possui uma configuração diferente (representada na Figura 19), na qual a aplicação de um corrente alternada nos eletrodos 1 e 4, mantêm uma diferença de potencial constante entre os eletrodos 2 e 3. A corrente medida da tensão entre os eletrodos 2 e 3 é desprezível ( $R_2 = R_3 = 0$ ), evitando assim o fenômeno de polarização dos mesmos. A condutividade será diretamente proporcional à corrente aplicada (SAS, 2014).

Figura 19 - Configuração de um sensor com célula de quatro eletrodos.



Fonte: SAS, 2004, p. 12.

Cada tipo de célula tem suas vantagens e desvantagens, a seguir será descrito algumas delas na tabela 3.

Tabela 3 - Vantagens e desvantagens de cada célula.

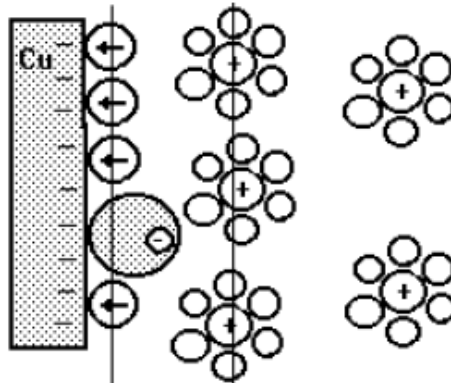
	<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
<b>Células com dois eletrodos</b>	Fácil manutenção	Efeito de campo
	Econômico	Polarização
	Apropriado para soluções mais viscosas	Calibração e exatidão
<b>Células com quatro eletrodos</b>	Calibração e medição em diferentes alcances	Apropriado em volumes de solução considerável
	Ideal em medições de alta condutividade	
	Pode ser usado para medir baixa condutividade, se houver compensação de célula.	

Fonte: SAS, 2004.

A precisão do sensor pode sofrer interferências por vários fatores, entre os quais: polarização; contaminação; geometria; frequência; temperatura.

Ao aplicar uma corrente elétrica nos eletrodos submersos na solução, pode-se ocorrer o acúmulo de íons ao longo da superfície dos eletrodos (PONTE, 2003), conforme ilustrado na Figura 20. Assim, cria-se uma resistência de polarização na superfície do eletrodo que pode levar a resultados errados nas medições pois altera a resistência da solução.

Figura 20 - Efeito de polarização na superfície do eletrodo.

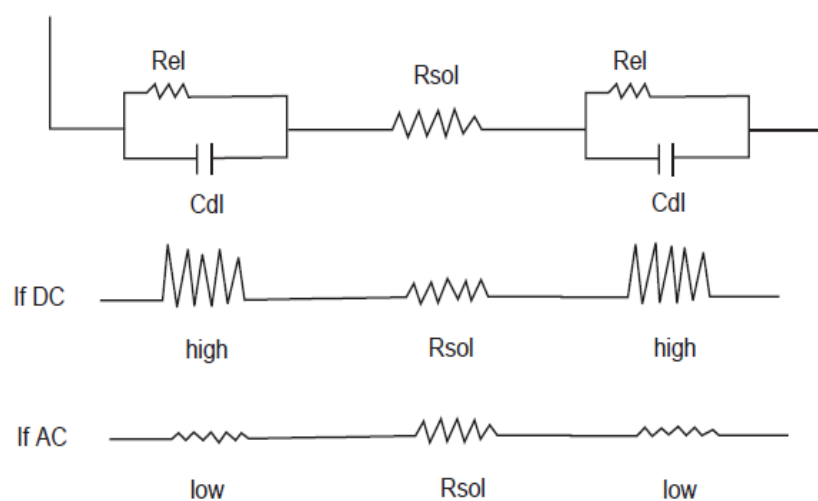


Fonte: PONTE, 2003. p. 39.

De acordo com SAS (2004), os efeitos de polarização podem ser evitados ou reduzidos com:

- Aplicando uma corrente alternada nos eletrodos, esta corrente fluirá através da capacitância de superfície dos eletrodos, formando uma queda de tensão na superfície do eletrodo devido à resistência da solução ( $R_{sol}$ ),  $R_{el}$  então será muito pequena em relação a  $R_{sol}$ , conforme mostra a Figura 21.
- A frequência deve ser ajustada de acordo com a faixa de valores de condutividade que o sensor foi projetado para medir. As baixas frequências (na ordem de 1kHz) são aplicadas em baixas condutividades, onde a polarização é insignificante em comparação a  $R_{sol}$ , as altas frequências (na ordem de 50kHz) são aplicadas em altas condutividades, pois  $R_{sol}$  é baixa.
- Envolvendo o eletrodo com uma camada de platina reduz a densidade de corrente e consequentemente o efeito de polarização.
- Utilizando sensores com células de quatro eletrodos, a resistência de polarização não influencia na medição.

Figura 21 - Resistência de polarização.

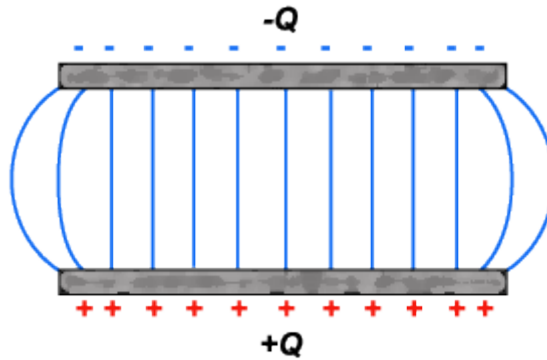


Fonte: SAS, 2004, p. 17.

A contaminação das superfícies dos eletrodos devido ao acúmulo de sedimentos, resulta em valores de medição de condutividade a baixos do normal. Este efeito é minimizado utilizando sensores com células de quatro eletrodos.

Erros de medição relacionados com a geométrica são devido aos efeitos gerados por parte do campo que está fora do espaço geométrico entre os eletrodos (Figura 22). Estes erros também são minimizados com a utilização das células de quatro eletrodos.

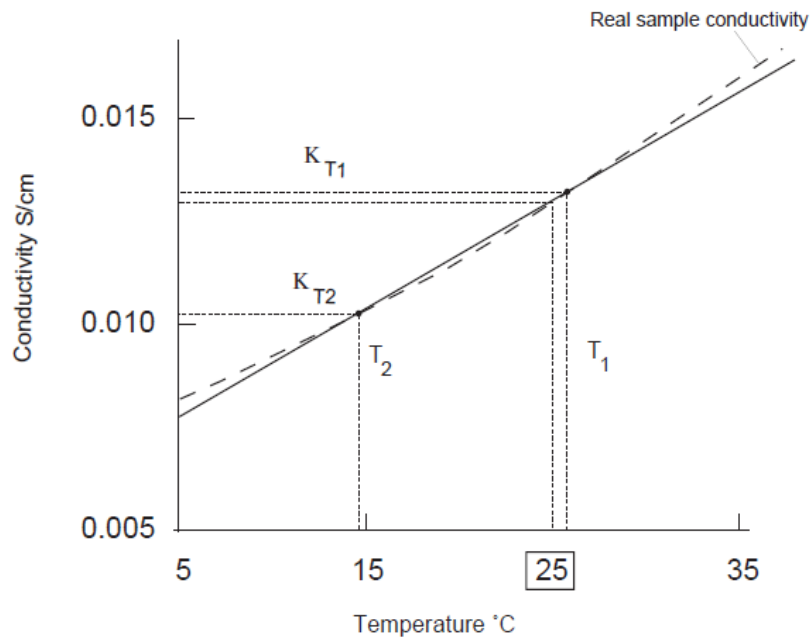
Figura 22 - Efeito de campo.



Fonte: E-física, 2007.

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a condutividade de uma solução. A condutividade está diretamente relacionada com a temperatura, pois quanto maior a temperatura maior será a condutividade e vice-versa, as medições de condutividade são feitas a uma temperatura de referência de 25°C ou 20°C. A Figura 23 diz respeito à condutividade elétrica em função da temperatura da água do mar.

Figura 23 - Condutividade da água do mar em função da temperatura.

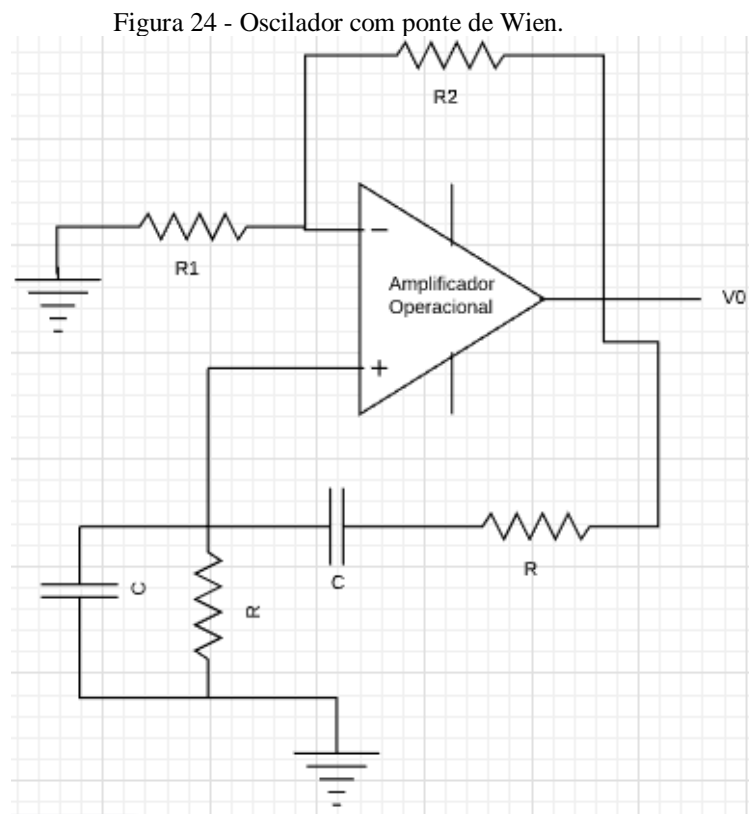


Fonte: SAS, 2004, p. 23.

#### 4.1 Construção do Circuito Utilizado no Sensor

Como visto anteriormente, uma das formas de se medir a condutividade elétrica de fluidos é aplicando corrente alternada nos eletrodos do sensor. Então, o tipo de célula

utilizada neste trabalho será a de quatro eletrodos, a qual possui vantagens em relação às células de dois eletrodos. Além disso, para gerar a corrente alternada, será projetado um gerador de sinal senoidal de 1kHz. A classe de gerador de sinal senoidal utilizada foi o oscilador com ponte de Wien por ser simples, com componentes de baixo custo e fáceis de encontrar no mercado. Em Sedra (2007) é apresentado um oscilador com ponte de Wien sem estabilização de amplitude (figura 24).



Fonte: SEDRA, 2007.

Deduzido em (SEDRA, 2007), o ganho em malha será real (isto é, a fase será zero) em uma frequência dada por:

$$\omega_0 CR = \frac{1}{\omega_0 CR},$$

onde  $\omega_0$  é a frequência angular,  $C$  é o capacitor (figura 24) e  $R$  é o resistor (figura 24). Logo:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{(CR)^2}},$$

$$\omega_0 = \frac{1}{CR} ,$$

$$\omega_0 = \frac{1}{CR} ,$$

Então podemos ter que a frequência  $f$  de oscilação é dada por:

$$\omega_0 = 2\pi f ,$$

$$2\pi f = \frac{1}{CR} ,$$

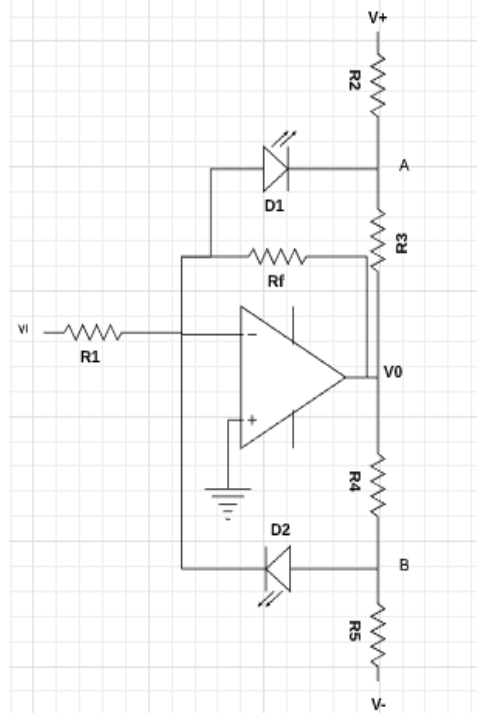
$$f = \frac{1}{CR2\pi} .$$

Para obter e manter as oscilações nessa frequência  $f$ , é feito a amplitude do ganho da malha unitário, usando:

$$\frac{R_2}{R_1} = 2 ,$$

Para iniciar a oscilação, deve-se escolher  $\frac{R_2}{R_1}$  um pouco maior que 2. Para determinar e estabilizar a amplitude da oscilação foi utilizado uma malha de controle não linear, o circuito na Figura 25 representa uma malha de controle não linear do tipo limitador com realimentação simétrica. O circuito é formado pelos diodos  $D_1$  e  $D_2$  junto com os resistores  $R_2, R_3, R_4$  e  $R_5$ . O limitador opera do seguinte modo: no pico positivo da tensão de saída  $V_0$ , a tensão a tensão no nó **B** excederá a tensão  $V_l$  (que é cerca de  $\frac{1}{3}V_0$ ) e o diodo  $D_2$  estará em condução, isso grampeará o pico positivo no valor determinado por  $R_4$  e  $R_5$  e a tensão negativa da fonte de alimentação. O valor da tensão de pico positivo de saída pode ser calculado fazer  $V_B = V_l + V_{D_2}$ , de modo similar o pico negativo da tensão de saída  $V_A = V_l - V_{D_1}$ .

Figura 25 - Malha de controle não linear.



Fonte: SEDRA, 2007.

Levando em consideração que  $V_l \cong 0$ , temos que:

Ambos os diodos estão cortados, portanto toda corrente de entrada  $\frac{V_l}{R_1}$  circula por  $R_f$  e a tensão  $V_0$  será:

$$V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) \times V_l$$

Usando superposição nos nós A e B temos:

$$V_A = \frac{VR_3}{R_2 + R_3} + V_0 \times \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$V_B = -\frac{VR_4}{R_4 + R_5} + V_0 \times \frac{R_5}{R_4 + R_5}$$

O valor correspondente de  $V_l$  pode ser encontrado dividindo-se  $L_{(-)}$  pelo ganho do limitador  $-\frac{R_f}{R_1}$ , se  $V_l$  aumentar além desse valor, mais corrente será injetada em  $D_1$ , e  $V_A$  será aproximadamente  $-V_D$ . Quando  $V_l$  é positivo,  $V_0$  é negativo e nota-se que  $V_B$  se torna mais

negativo, mantendo, portanto,  $D_2$  em corte.  $V_A$  se torna menos positivo, assim se continuar a aumentar  $V_l$  o  $V_0$  atingirá um valor negativo em que  $V_A$  será de  $-0,7$  ou menor e o diodo  $D_1$  conduzirá. Para queda de tensão em  $D_1$  temos  $V_D$ , o valor de  $V_0$  em que o  $D_1$  conduz pode ser determinado por  $L_{(-)}$  (limite de nível negativo):

$$V_0 = L_{(-)} \quad \text{e} \quad V_A = -V_D$$

Temos então:

$$L_{(-)} = -V \times \frac{R_3}{R_2} - V_D \times \left(1 + \frac{R_3}{R_2}\right) \quad (\text{a})$$

A dedução da fórmula acima (a) está no Apêndice A. Para encontrar  $V_l$  temos:

$$L = V_0 = -\left(\frac{R_f}{R_1}\right) \times V_l$$

$$V_l = \frac{L_{(-)}}{-\left(\frac{R_f}{R_1}\right)}$$

Portanto, a corrente em  $R_2$  se torna constante e a corrente em  $D_1$  circula em  $R_3$ , tornando  $R_3$  em paralelo com  $R_f$  e o ganho incremental ou inclinação da característica de transferência na região de limite negativo será  $-\left(\frac{R_f \parallel R_3}{R_1}\right)$ , deve-se então escolher um valor de  $R_3$  pequeno.

Considerando novamente os cálculos feitos no Apêndice A, temos que  $L_{(+)}$ :

$$L_{(+)} = V \times \frac{R_4}{R_5} + V_D \times \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right)$$

O ganho incremental será, portanto  $-\left(\frac{R_f \parallel R_4}{R_1}\right)$ . Vemos então que o circuito da figura XX14 funciona como um limitador suave, com os níveis de tensão fixados em  $L_{(+)}$  e  $L_{(-)}$ . O circuito sempre compara  $V_l$  com o valor  $0$  V, ou seja, para  $V_l > 0$  o resultado em  $V_0 \cong L_{(-)}$  e  $V_l < 0$  resulta em  $V_0 \cong L_{(+)}$ .

Sabendo-se que este sensor será projetado para medir valores baixos de condutividade elétrica, pode-se usar o circuito da Figura 25 como base para projetar um oscilador de acordo com os parâmetros exigidos (frequência aproximadamente em 1kHz), seguindo o modelo de queda de tensão constante em  $D_2$  e escolhendo um valor para  $R_4$  em torno de  $1k\Omega$  para um sinal senoidal de saída de aproximadamente  $\pm 8V$  pico a pico e com o regulador alimentado por uma fonte de 18V pico a pico, temos:

$$L_{(+)} = V \times \frac{R_4}{R_5} + V_D \times \left(1 + \frac{R_4}{R_5}\right)$$

$$4 = 18 \times \frac{1}{R_5} + 0.7 \times \left(1 + \frac{1}{R_5}\right)$$

$$R_2 = R_5 \cong 5.6K\Omega$$

Para uma frequência de oscilação de 1kHz: o conjunto RC é responsável por controlar a frequência de oscilação, pode-se escolher um valor para o capacitor (de preferência comercial), nesse caso  $C = 10nF$ .

$$f = \frac{1}{CR2\pi}$$

$$10^3 = \frac{1}{10^{-8}R2\pi}$$

$$R \cong 16K\Omega$$

Como parâmetros para iniciar a oscilação, foi escolhido  $R_1 = 10K\Omega$  e  $R_f = 22K\Omega$ .

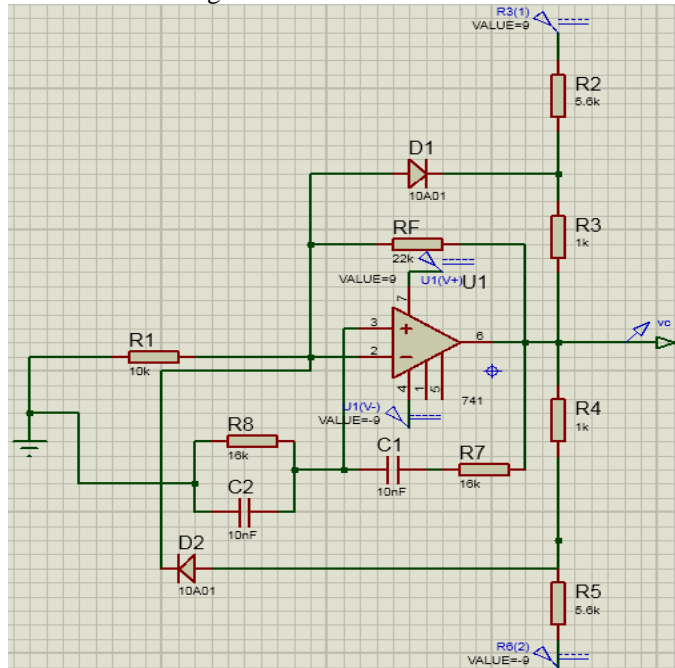
Logo,

$$\frac{R_f}{R_1} = \frac{22k\Omega}{10k\Omega} = 2.2$$

O software Proteus 8 foi utilizado para viabilizar a montagem e simulação do circuito de forma virtual, possibilitando assim a validação do oscilador com os devidos resistores e

capacitores calculados. Na montagem do circuito, optou-se pela utilização do amplificador operacional 741, visando o baixo custo e fácil acesso. A Figura 26, mostra o circuito simulado no Proteus.

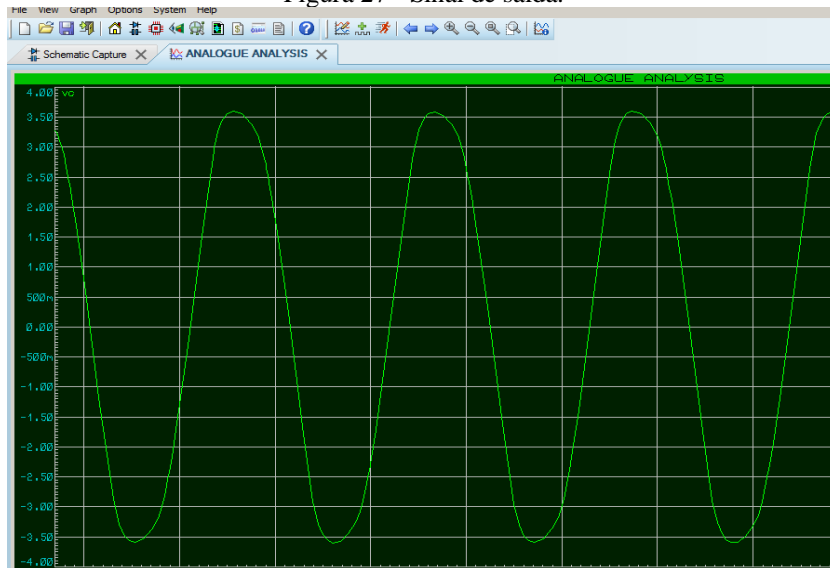
Figura 26 - Circuito simulado.



Fonte: Autor, 2020.

Usando a ferramenta ANALOGUE (do próprio Proteus), pode-se ver a representação virtual do sinal de saída do circuito simulado. Pode-se notar que o sinal de saída é bem próximo de 8V pico a pico, Figura 27.

Figura 27 - Sinal de saída.

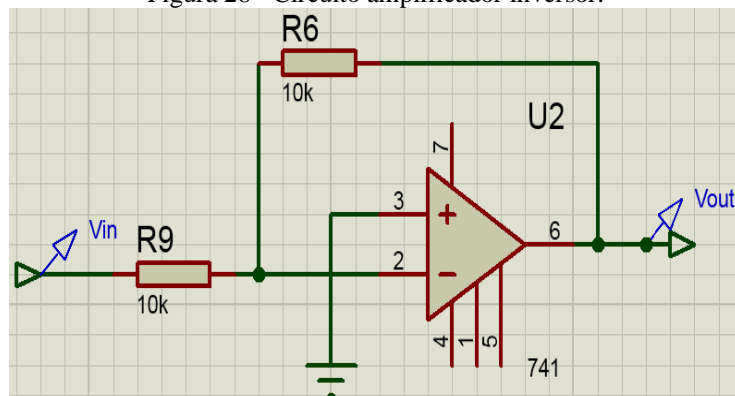


Fonte: Autor, 2020.

Após criar o circuito oscilador, é acoplado na sua saída outro circuito, responsável por defasar o sinal de saída em  $180^\circ$  para que se obtenha dois sinais defasados entre si em  $180^\circ$ . Com isso, cada um dos sinais será implementado nos eletrodos  $R_{el}$  (Figura 19), obtendo assim, uma melhor referência da diferença de potencial entre os eletrodos  $R_{el}$ . Esta diferença de potencial será o parâmetro medido para obter o valor próximo da condutividade.

O circuito utilizado para defasar o sinal é o amplificador operacional 741, operando no modo inversor com ganho unitário. A Figura 28, demonstra a tipologia do circuito feita no Proteus.

Figura 28 - Circuito amplificador inversor.



Fonte: Autor, 2020.

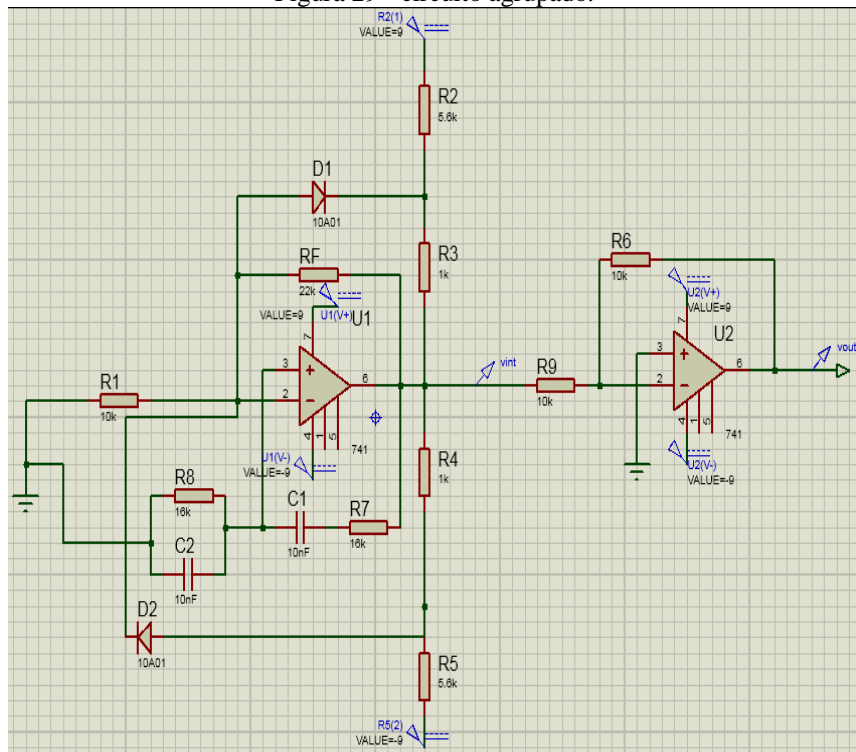
Onde  $V_{in}$  é a saída do circuito oscilador e  $V_{out}$  o sinal defasado em  $180^\circ$ . Para um ganho unitário ficará então:

$$\frac{R_6}{R_9} = \frac{10K\Omega}{10K\Omega} = 1$$

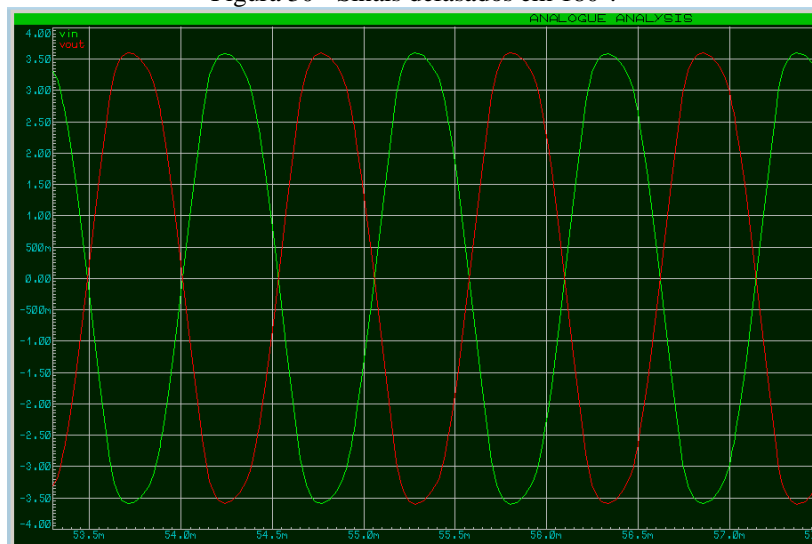
Agrupando os dois circuitos (Figura 26 e Figura 28) temos o circuito da Figura 29 e os dois sinais com a mesma frequência e amplitude, mas defasados em  $180^\circ$  (Figura 30).

Após a simulação no Proteus, foi realizada a montagem do circuito em uma protoboard e utilizou-se um osciloscópio para verificar os sinais de saída e melhor entendimento da montagem do circuito, o qual está representado com suas devidas conexões no anexo 2. A Figura 31 representa o circuito montado, onde no Apêndice B também é demonstrado o circuito montado em protoboard em detalhes utilizando o programa fritizing, e a Figura 32 apresenta os sinais de saída do circuito.

Figura 29 - circuito agrupado.

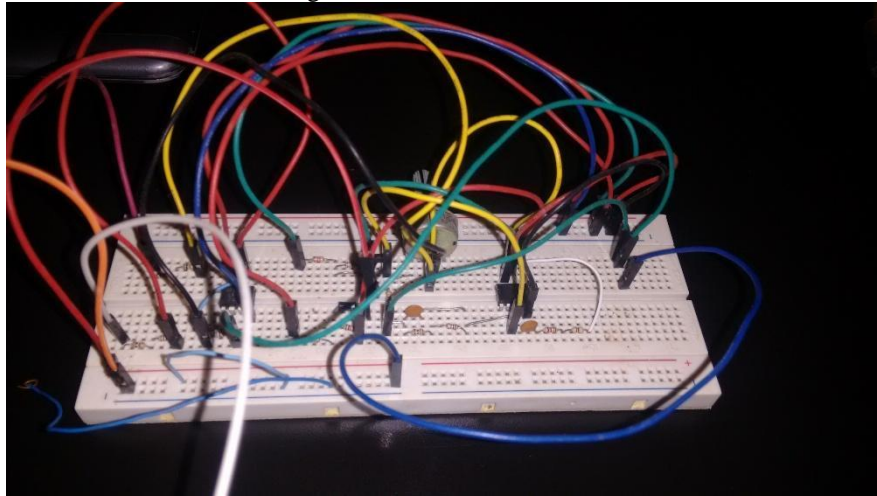


Fonte: Autor, 2020.

Figura 30 - Sinais defasados em  $180^\circ$ .

Fonte: Autor, 2020.

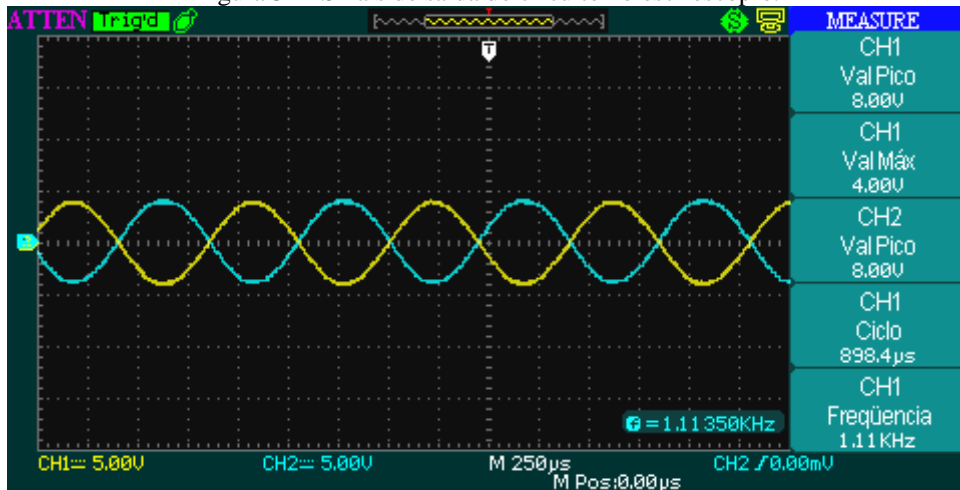
Figura 31 - Circuito montado.



Fonte: Autor, 2020.

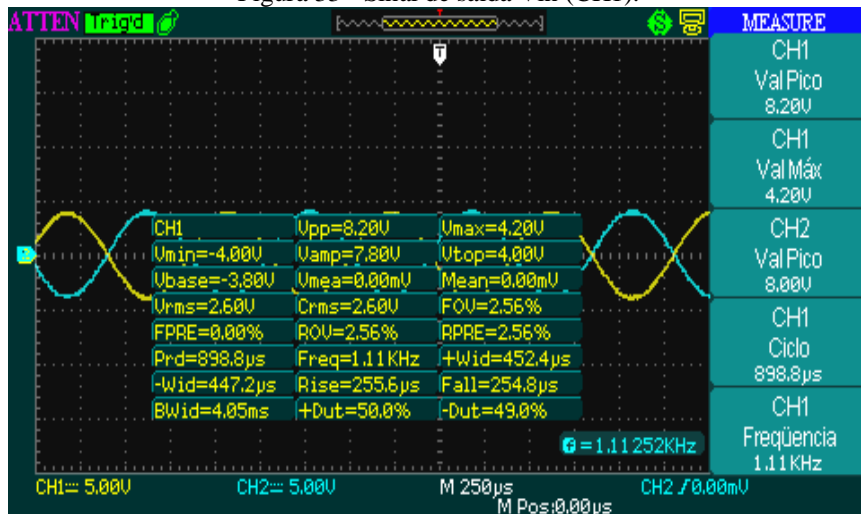
É importante notar que, no lugar do  $R_f$  foi utilizado um potenciômetro de  $100\text{k}\Omega$  para regular o valor de  $R_f$  em  $22\text{k}\Omega$ . Os resultados gerados pelo circuito real, são próximos aos obtidos pelo circuito simulado no Proteus. As Figuras 32, 33 e 34, mostram os valores dos sinais medidos com o uso do osciloscópio, o qual permite uma visualização mais detalhada dos valores.

Figura 32 - Sinais de saída do circuito no osciloscópio.



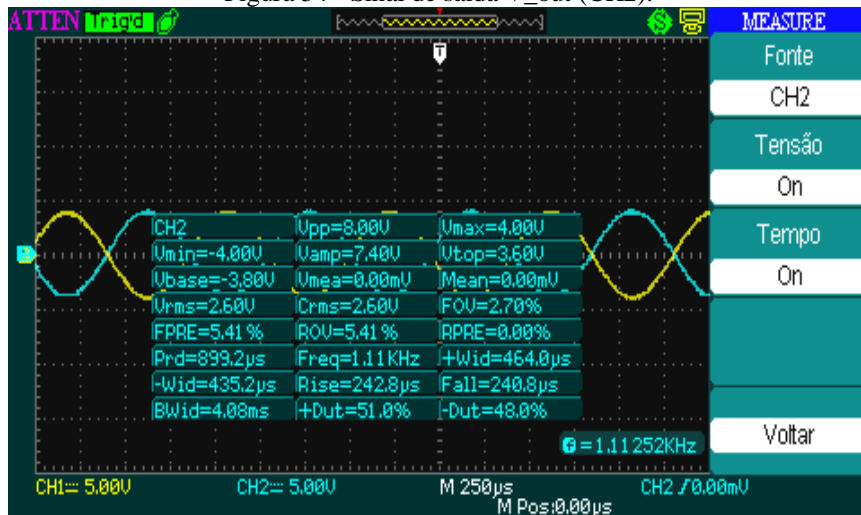
Fonte: Autor, 2020.

Figura 33 - Sinal de saída Vin (CH1).



Fonte: Autor, 2020.

Figura 34 - Sinal de saída V\_out (CH2).



Fonte: Autor, 2020.

Após a finalização da primeira etapa de desenvolvimento do sensor, passou-se para a etapa de construção da sonda de quatro eletrodos. As Figuras 35 e 36 apresentam a sonda confeccionada, as duas extremidades dos fios (amarelo e branco) serão utilizadas para medir a diferença de potencial entre os eletrodos  $R_{el}$ , que são as duas lâminas (inox) distanciadas entre si de 1.5 cm.

Figura 35 - Sonda de 4 eletrodos confeccionada.



Fonte: Autor, 2020.

Figura 36 – sonda sensor.

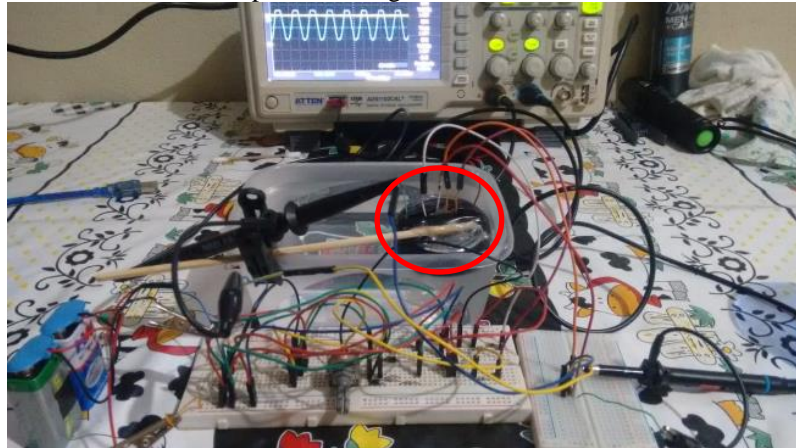


Fonte: Autor, 2020.

Para que o Arduino leia os valores de tensão entre os  $R_{el}$ , na saída do sinal da sonda (cabos laranja e branco) é conectado um detector de envoltória para enviar apenas os valores positivos de tensão para a entrada analógica do Arduino, pois sabemos que o mesmo ler valores de tensão de 0 a 1023, que equivale a uma faixa de tensão de 0 a 5V. Este detector é formado por dois componentes básicos: um capacitor de 100nF de cerâmica e um diodo, sua estrutura é representada no Apêndice B.

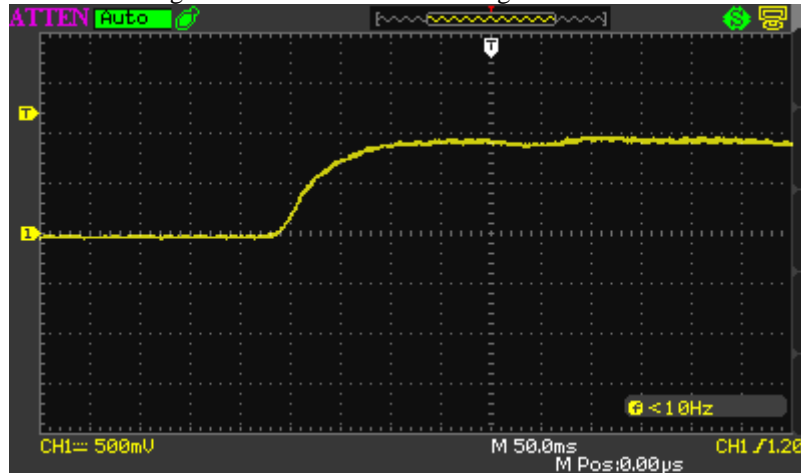
Usando o sensor em um recipiente contendo água da torneira (figura 37), que possui um valor de condutividade elétrica entre 50 – 800  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (CTA, 2020) ou 0.05 – 0.8  $\text{mS}/\text{cm}$ , para medir a diferença de potencial da solução, nota-se na figura 38 o momento em que é ligado o sensor e ajustamos o potenciômetro ( $R_f$ ) Em aproximadamente 22K  $\Omega$  o osciloscópio detecta um nível de tensão contínua visto na saída do detector de envoltória.

Figura 37 - Usando o sensor em um recipiente com água da torneira. Círculo vermelho: sonda de 4 eletrodos.



Fonte: Autor, 2020.

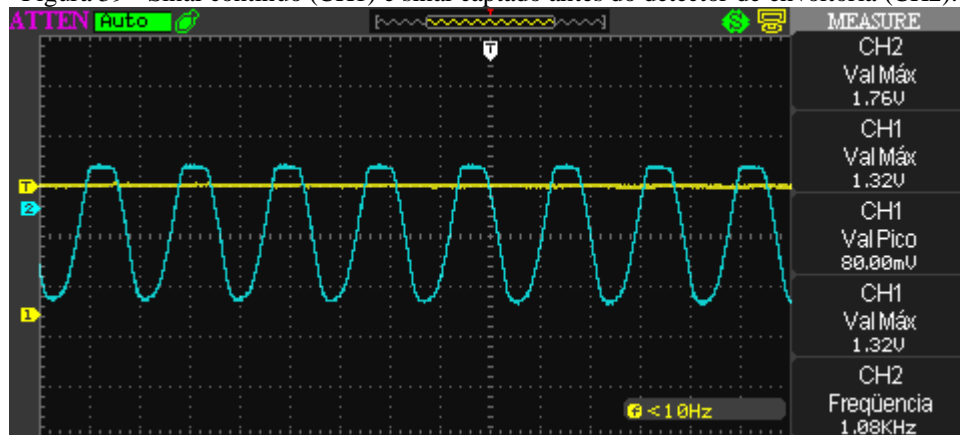
Figura 38 - Teste do sensor em água da torneira.



Fonte: Autor, 2020.

Fazendo um comparativo do sinal contínuo (CH1) com o sinal captado antes do detector de envoltória (CH2) pode-se notar na figura 39 uma certa perda do valor de pico comparado ao sinal alternado devido ao detector de envoltória, mas que não é de grande relevância no intuito do funcionamento do sensor, pois o que está sendo feito é um estudo isolado do sensor para medir uma pequena faixa de condutividade elétrica da solução hidropônica.

Figura 39 - Sinal contínuo (CH1) e sinal captado antes do detector de envoltória (CH2).



Fonte: Autor, 2020.

Para as sondas de quatro polos a corrente que é introduzida nos eletrodos  $R_{el}$  é a mesma corrente em que se encontra entre os terminais que está representado pelos fios amarelo e branco. Para baixos valores de condutividade elétrica a tensão medida entre os fios amarelo e branco apresentará um valor elevado devido à resistência associada à solução e para altos valores de condutividade elétrica o valor de tensão reduz (RAMALHO, 2009).

Para iniciar os testes do sensor no Arduino, foram feitas três medições utilizando três tipos de soluções diferentes (figura 40 e 41) que são: água mineral da marca Floratta, água mineral da marca Mar Doce e uma amostra da solução hidropônica utilizada no cultivo da propriedade particular Green Garden Hidroponia localizada no município de Tucuruí – PA (rua DALLAS, Sítio Deus é Grande).

Figura 40 - Amostra da solução hidropônica.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 41 - Água mineral Mar Doce e Floratta.



Fonte: Autor, 2021.

O primeiro teste foi feito utilizando a água mineral Floratta. Com a sonda do sensor dentro de um recipiente contendo a água aos 25 graus (figura 42), obtém-se o valor medido de tensão analógica no IDE do Arduino (figura 43).

Figura 42 - Teste do sensor de CE na água Floratta.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 43 - Tensão analógica no IDE para água Floratta.

COM3	
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	446
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	446
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	446
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	444
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	444
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	446
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	446
Valor cond. elétrica em tensão analógica:	445

Fonte: Autor, 2021.

A condutividade elétrica da água Floratta é tabelada, onde no seu rótulo está constando 230,2  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25°C (figura 44).

Figura 44 - Rotulo água Floratta.

CLASSIFICAÇÃO:			
Água Mineral Hipotermal na Fonte			
COMPOSIÇÃO QUÍMICA (mg/L)			
Sulfato	33,43	Potássio	2,279
Sódio	21,560	Magnésio	1,149
Cloreto	17,98	Sulfato	22,56
Cálcio	2,215	Flúoreto	0,03
CARACTERÍSTICAS FÍSICO			
pH a 25°C			4,20
Temperatura da água na fonte			28,3°C
Condutividade a 25°C			230,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Perda de água por evaporação calculado a 180°C			150,12 mg/L
CONSERVAR AO BRIGO DO SOL EM LOCAL SECO, SEM ODOR.			

Fonte: Autor, 2021.

O segundo teste semelhante ao primeiro foi feito utilizando a água mineral Mar Doce (figura 45). Tem-se os seguintes resultados no IDE do Arduino demonstrado na figura 46.

Figura 45 - Teste do sensor de CE na água Mar Doce.



Fonte: Autor, 2021.

Figura 46 - Tensão analógica no IDE para água Floratta.

```
COM3
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 952
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 955
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 959
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 960
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 960
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 965
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 965
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 964
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 960
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 962
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 963
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 962
Valor cond. elétrica em tensão analógica: 961
```

Auto-rolagem  Show timestamp

Fonte: Autor, 2021.

A condutividade elétrica da água Mar Doce é tabelada, onde no seu rótulo está constando 39,9  $\mu\text{S}/\text{cm}$  a 25 °C (figura 47).

Figura 47 - Rotulo água Mar Doce.

COMPOSIÇÃO QUÍMICA EM mg/L			
Bário	0,021	Sulfato	0,93
Cálcio	0,461	Nitrato	4,71
Magnésio	0,162	Cloreto	4,75
Potássio	0,340	Brometo	0,05
Sódio	3,862		

**CLASSIFICAÇÃO**  
ÁGUA MINERAL HIPOTERMAL NA FONTE

**CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS**

pH a 25 °C	7,95
Temperatura da água na fonte	27,6 °C
Condutividade elétrica a 25 °C	39,9 $\mu\text{S}/\text{cm}$
Resíduo de evaporação a 180 °C, calculado	18,7 mg/L
Radioatividade na fonte a 20 °C e 760 mmHg	0,0001 Bq/L

Fonte: Autor, 2021.

O terceiro e último teste foi utilizando a solução adquirida na propriedade Green Garden, ao ir no local foi realizada a aferição da CE da solução com o equipamento medidor de condutividade elétrica de bolso (MCEB) da propriedade e a CE estava em 1,1 mS/cm e sua temperatura em 32 C° (figura 48).

Figura 48 - Condutividade elétrica da solução com o Condutivímetro.



Fonte: Autor, 2021.

Após aferir a CE da solução com o MCEB foi realizada a leitura com o sensor de condutividade projetado. Na figura 49 está indicado por uma seta azul o valor de tensão analógica medido pelo sensor plotado no monitor serial do IDE.

Figura 49 - IDE. Retângulo vermelho: Leitura feita do sensor de condutividade. Setas azul: valor de tensão analógica medida no sensor de CE.

```
Temp C: 29.87 Min : 29.87 Max : 29.87
sensor = 6.41
260 ←
cond = OK
sensor luz = 15
```

Fonte: Autor, 2021.

Analisando os resultados obtidos com o sensor de CE, foi convertido o valor de tensão analógica de cada solução para valor de tensão contínua e representado na tabela 4 a seguir.

Tabela 4 - Análise dos resultados obtidos pelo sensor de CE.

TIPO DE SOLUÇÃO	VALOR DE PARTIDA	VALOR MEDIDO (V)
Água da torneira	0.8mS/cm	1.32V
Amostra da solução	1.1mS/cm	1.27V
Amostra água Floratta	0,23mS/cm	2,17V
Amostra água Mar Doce	0,039mS/cm	4,7V

Fonte: Autor, 2021.

Com isso, para o sensor projetado funcionar na faixa de condutividade elétrica desejável para a proposta do projeto foi escolhido uma pequena faixa de tensão analógica aceitável de operação, no próximo capítulo será apresentado de forma mais clara o funcionamento do mesmo junto com o Arduino e os demais componentes.

## **CAPÍTULO 5. O SISTEMA ALTERNATIVO DE AUTOMAÇÃO PROPOSTO**

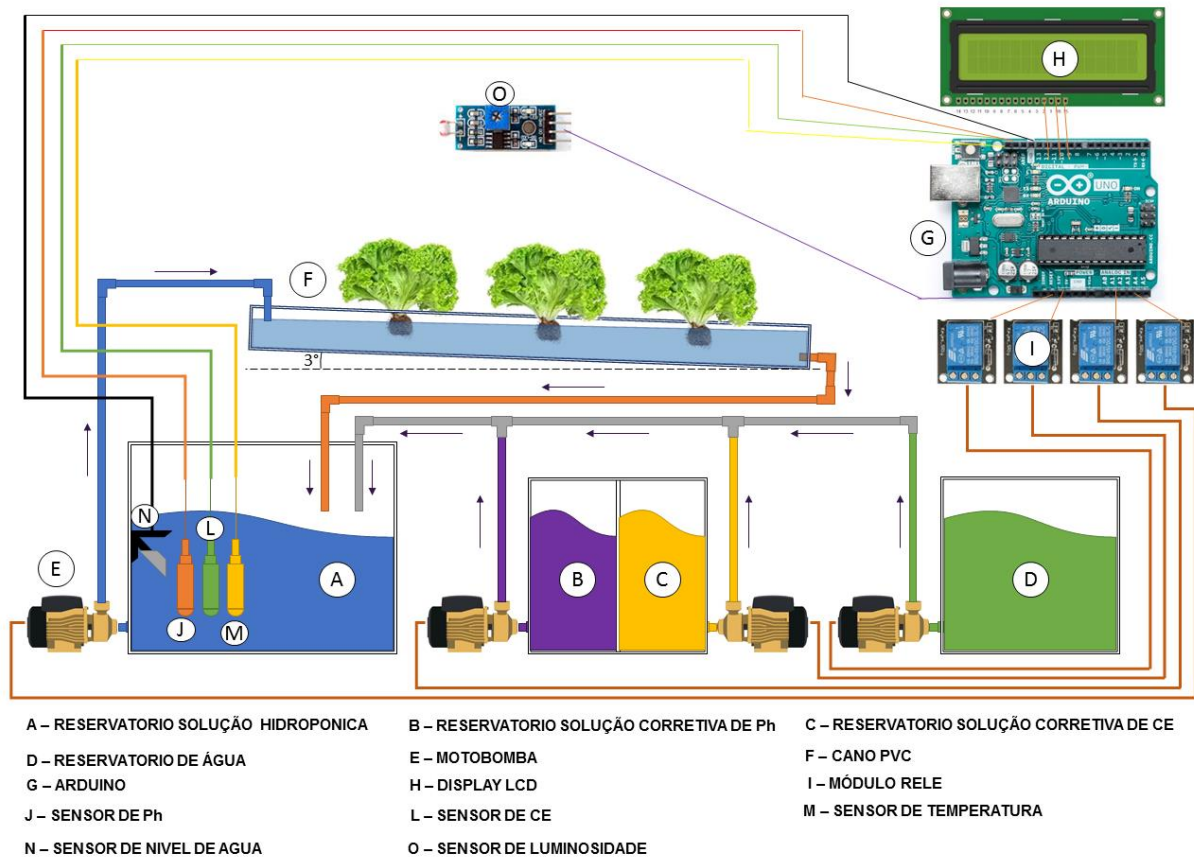
Concluindo a descrição dos sensores e os conceitos básicos sobre o Arduino no capítulo 3, segue-se a confecção do protótipo experimental. Foi utilizado:

- Canos de PVC;
- Mangueiras;
- Recipiente para armazenar a solução hidropônica;
- Recipiente para armazenamento de água;
- Recipiente para armazenamento da solução corretiva de pH e CE;
- Fios jumpers;
- Resistores;
- Protoboards;
- Um sensor de temperatura DS18B20;
- Um sensor pH-4502C;
- Um sensor de nível d'água 90°;
- Um sensor de luz ambiente TEMT6000;
- O sensor de condutividade elétrica projetado;
- Dois relés 12V e componentes auxiliares (transistores 548, diodos e resistores);
- Dois módulos relés 5V;
- 4 Motobombas;
- Um display lcd 16X2;
- Um Arduino UNO;
- Uma fonte de alimentação de computador (230W).

## 5.1 Estrutura do Protótipo Experimental

A configuração de cultivo utilizada no protótipo foi a NFT, a seguir na figura 50 é demonstrado o diagrama contendo as conexões e componentes utilizados para a confecção do protótipo experimental.

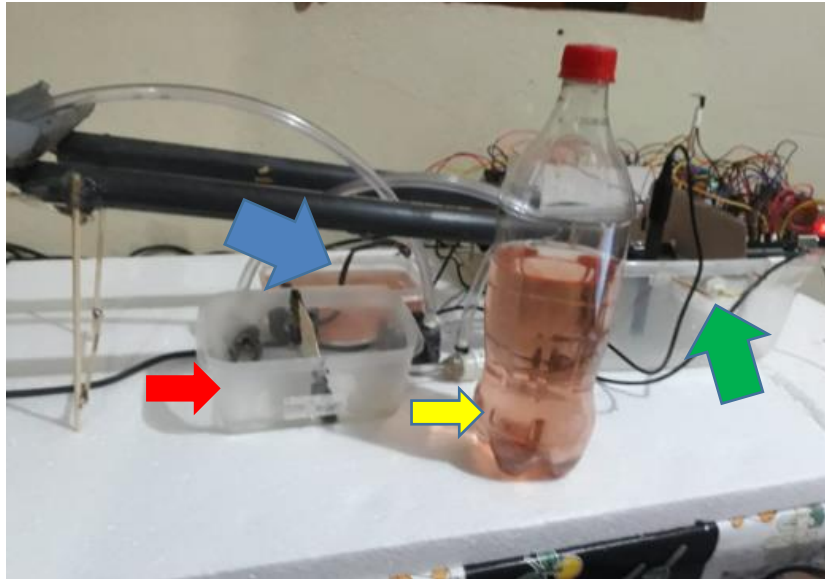
Figura 50 – Diagrama contendo as conexões e componentes utilizados.



Fonte: Autor, 2021.

Na figura 51 é apresentado o protótipo experimental montado junto com a amostra da solução adquirida. Nota-se que contém mais dois recipientes além do reservatório da solução hidropônica, o recipiente a frente (seta vermelha) possui duas partições, uma para a solução corretiva de condutividade elétrica do reservatório maior e a outra partição para a solução corretiva de pH. O recipiente atrás (seta azul) contém água para corrigir o nível d'água do recipiente maior, a qual evapora ou é consumida pelas plantas, todos os reservatórios possuem motorbombas que funcionam de acordo com os comandos do Arduino.

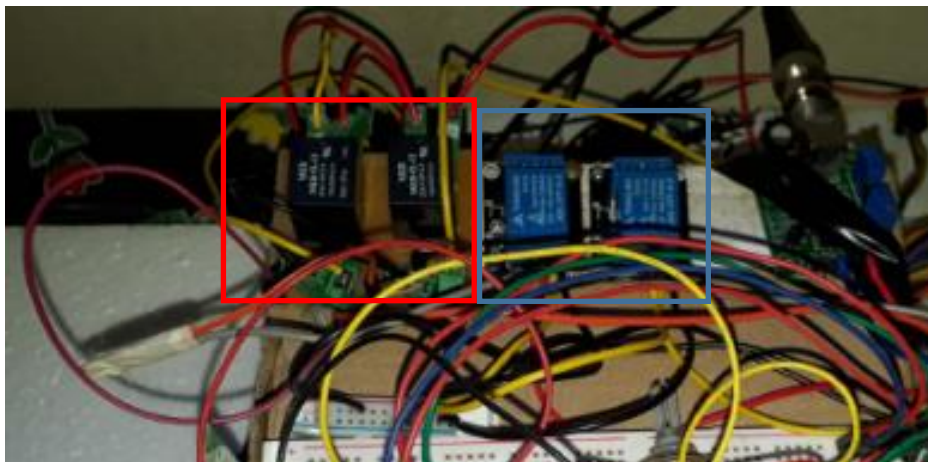
Figura 51 - O protótipo experimental montado. Seta vermelha: recipiente à frente. Seta azul: recipiente atrás. Seta amarela: amostra da solução hidropônica. Seta verde: recipiente maior da solução hidropônica.



Fonte: Autor, 2021.

O uso de relés para o acionamento das Motobombas está demonstrado na figura 52, um dos dois módulos relé 5V é utilizado para acionar a motobomba de refluxo da solução, enquanto o outro é utilizado para acionar a bomba de reposição de água do recipiente maior. Os outros dois relés de 12V são utilizados para acionar as motobombas de correção de pH e de condutividade elétrica da solução hidropônica.

Figura 52 - Módulos relé de acionamento das Motobombas. Retângulo azul: módulos relé 5V. Retângulo vermelho: módulos relé 12V.



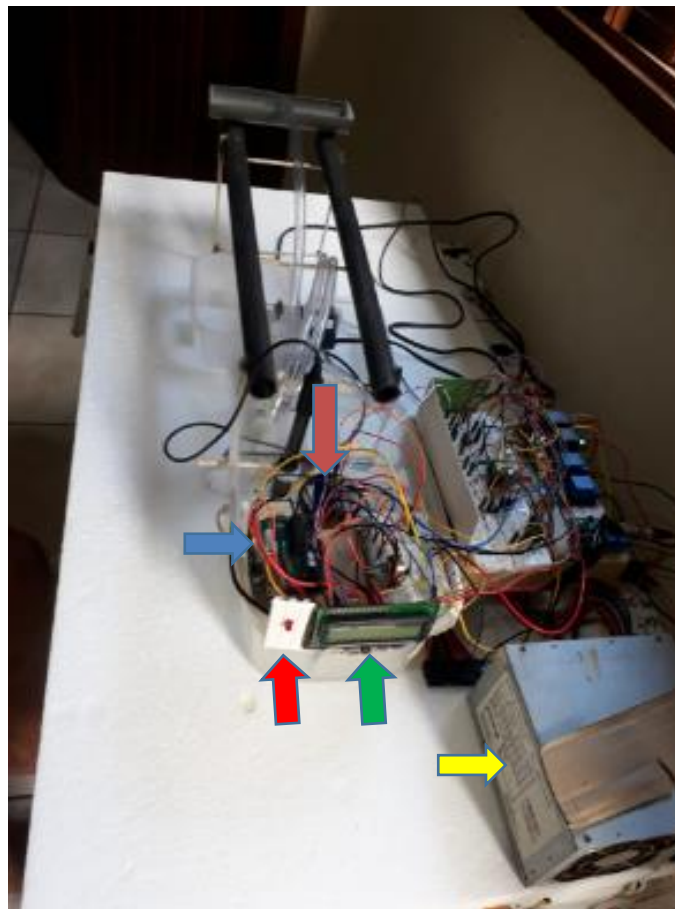
Fonte: Autor, 2021.



exceder o valor de 6.5, programando a motobomba para funcionar 1 segundos e pausar 1 min, repetindo esse ciclo até a solução ser corrigida, o mesmo funciona para o sensor de condutividade elétrica com diferença apenas no tempo maior de motobomba ligado de 2 segundos.

Para o sensor de condutividade elétrica foi conveniente estipular uma faixa de tensão analógica aceitável de 200 a 270 para corresponder um valor de 0.8 mS/cm a 1.6 mS/cm aproximadamente, isso devido o valor de 1.1 mS/cm da amostra da solução adquirida corresponder 260. No display LCD será passado a informação de CE=OK (condutividade elétrica nos parâmetros desejados), CE=!! (condutividade elétrica fora dos parâmetros), com o passar do tempo a tendência da condutividade elétrica da solução é baixar devido a planta está se alimentando dos nutrientes, quando a solução sair dos parâmetros a motobomba da solução corretiva será acionada pelo Arduino até a solução ser corrigida.

Figura 54 - Configuração dos componentes. Seta azul: Arduino. Seta vermelha: led de com placa de advertência de temperatura elevada. Seta verde: display LCD. Seta amarela: fonte de alimentação. Seta laranja: sensor de condutividade.



Fonte: Autor, 2021.

Para o sensor de luz ambiente TEMENT6000 foi estipulado um valor de tensão analógica da seguinte forma: para valores menores ou igual a 10 de tensão analógica o Arduino entende que é noite e para valores acima disso será dia. Com isso, no display LCD indicará L=D para dia e L=N para noite, e o funcionamento da motobomba de refluxo funcionará de forma diferente para cada estado (durante o dia = 15min funcionando e 15min parada, durante a noite = 4 bombeadas de 15 min espaçadas igualmente durante a noite toda).

O sensor de nível d'água 90° funciona junto com a motobomba de controle de nível d'água, quando o nível de solução diminui o contato da boia fica aberto e no display indicará NS=!! (nível da solução baixo), conseqüentemente a motobomba será ligada automaticamente para corrigir o nível até normalizar e no display indicar NS=OK e o contato da boia fechará.

## CAPÍTULO 6. RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A primeira etapa feita para obter os resultados foi ligar todos os circuitos do sistema e em especial o Arduino juntamente com o computador, no serial do IDE foi obtido os seguintes resultados que está representado na figura 55, levando em consideração que a solução hidropônica já está introduzida no reservatório maior. Em seguida foi obtido os valores no display LCD (figura 56).

Figura 55 - Valores dos sensores obtidos no serial. Seta azul: valores de temperatura instantânea, mínima e máxima. Seta vermelha: valor do sensor de pH. Seta amarela: valor de tensão analógica referente ao sensor de condutividade. Seta verde: condutividade elé.

```
Temp C: 29.87 Min : 29.87 Max : 29.87 ←
sensor = 6.41 ←
260 ←
cond = OK ←
sensor luz = 15 ←
```

Fonte: Autor, 2021.

Figura 56 - Valores dos sensores obtidos no display LCD.



Fonte: Autor, 2021.

Observa-se que comparando os resultados obtidos na figura 55 e figura 56, tanto no display LCD como no serial do IDE seguem valores semelhantes. Com isso, na figura 56 está demonstrando o funcionamento do sistema apresentando uma interface máquina e homem por meio do display LCD, nota-se também o funcionamento correto do led de advertência de

temperatura, pois o valor obtido pelo sensor de temperatura está acima de  $25\text{ C}^\circ$  ( $T=30.25$ ) e consequentemente o led está aceso.

O valor de pH obtido pelo sensor ( $pH = 6,55$ ) comparado com o valor obtido pelo pHmetro da propriedade Green Garden apresentado na figura 57 ( $pH = 6,9$ ) se assemelham, levando em consideração a diferença de temperatura da solução entre as duas medições: sensor =  $30.25\text{ C}^\circ$  e MCEB =  $32.9\text{ C}^\circ$  (figura 48), podendo ocasionar variações no valor de pH medido.

Figura 57 - Valor de pH obtido pelo pHmetro.



Fonte: Autor, 2020.

Para o valor de condutividade elétrica, a figura 55 e 56 confirma o que foi abordado no capítulo anterior e com isso o funcionamento do sensor, de acordo com as figuras a condutividade elétrica da solução está por volta de  $1.1\text{ mS/cm}$  (figura 48) ou 260 de tensão analógica (figura 55), com isso:  $CE = OK$ .

Os demais resultados como a luminosidade e nível da solução também está de acordo com o esperado, a luminosidade medida pelo sensor é apresentado no IDE com 15 de valor de tensão analógica (figura 55), consequentemente o que indicará no display LCD será  $L=D$  (figura 56). O nível da solução como pode ser observado na figura 56 está cheio e no nível correto, com isso  $NS=OK$ .

## CAPÍTULO 7. CONCLUSÃO

No presente estudo foi desenvolvido um protótipo de um sistema hidropônico NFT automatizado alternativo para o cultivo de alface. Para isso, a técnica NFT foi incrementada em um Sistema Eletroeletrônico (SE) com o uso do Arduino e sensores que visam monitorar e controlar os parâmetros necessários ao desenvolvimento dessas hortaliças.

Na primeira etapa do estudo foi confeccionado o protótipo em forma de maquete, onde posteriormente todo os circuitos desse sistema juntamente com o Arduino foram conectados a um computador para realizar as análises de temperatura, pH, condutividade elétrica, luminosidade e nível de solução, juntamente com o controle das motobombas.

Notou-se que houve um correto funcionamento do led de advertência de temperatura, uma vez que o sensor de temperatura mediu acima de 25°C e de acordo com a programação feita no IDE do Arduino o led acendeu. O pH da solução hidropônica obtido pelo sensor (pH= 6,55) foi semelhante ao valor do pH da solução hidropônica outrora medido pelo pHmetro da propriedade Green aos tabelados e medidos em equipamentos padronizados. Sendo assim, esse trabalho pode ser visto como ponto de partida para novas pesquisas no futuro, levando em conta a realização de análises mais detalhadas, desde ajustes nos parâmetros e melhoria no sistema com equipamentos mais sofisticados e robustos como por exemplo, a utilização de um CLP combinado com sensores e componentes eletrônicos de melhor qualidade, até a real implementação do protótipo em escala industrial.

## REFERÊNCIAS

- A HIDROPONIA. **Plataforma Hidroponia**. Disponível em: <https://plataformahidroponia.com/a-hidroponia>. Acesso em:
- AGRIESTUFA. **Casa de vegetação climatizada**. Disponível em: <http://www.agriestufa.com.br/site/produtos/casa-de-vegetacao-climatizada/>. Acesso em: setembro de 2020.
- AGRIESTUFA. **Hidroponia**. Disponível em: <http://www.agriestufa.com.br/site/produtos/hidroponia/>. Acesso em: setembro de 2020.
- ALBERONI, Robson de Barros. **Hidroponia: como instalar e manejar o plantio de hortaliças dispensando o uso do solo**: alface, agrião, rúcula, rabanete, chicória, almeirão. São Paulo (SP): Nobel, 1998.
- ALBERTO. **O Sistema NFT**. Blog Curso de Hidroponia. 24 de março de 2013. Disponível em: <http://curso-hidroponia.blogspot.com/2013/03/o-sistema-nft.html>.
- ALFAMA, P.J.B.C. **Avaliação de cultivares de alface hidropônica, em duas concentrações de soluções nutritivas, no trópico úmido, com ênfase na extração de nutrientes**. Dissertação de mestrado. Universidade Federal Rural da Amazônia- UFRA, Belém. 2008. 117 p.
- ANDRIOLO, Jerônimo Luiz. **Fisiologia das culturas protegidas**. Santa Maria: UFSM, 1999. 142 p.
- ANDRIOLO, Jerônimo Luiz. **Olericultura Geral**. 3. ed. UFSM, 2017. 96 p.
- ANDRIOLO, Jerônimo L. et al.. **Cultivo hidropônico da alface empregando substratos: uma alternativa a NFT?**. Horticultura Brasileira. Brasília, v.22, n.4, p.794-798, out-dez 2004.
- ARDUINO. **O que é Arduino?**. 2018. Disponível em: <https://www.arduino.cc/en/Guide/Introduction>. Acesso em: junho de 2020.
- ARDUINO E CIA. **Ligando um sensor de nível de líquidos ao Arduino**. 2014. Disponível em: <https://www.arduinoocia.com.br/arduino-sensor-de-nivel-de-liquidos/>. Acesso em: junho de 2020.
- ATLASSCIENTIFIC. **OEM-pH™**. 2020. Embedded pH Circuit. Disponível em: [https://www.atlas-scientific.com/files/pH\\_oem\\_datasheet.pdf](https://www.atlas-scientific.com/files/pH_oem_datasheet.pdf). Acesso em: maio de 2020.
- BARROS, A. P.; ALVES, J. E.; SILVA, J. N. P.. **Situação e perspectiva da cadeia produtiva da alface hidropônica (Lactuca sativa) no Estado do Pará**. Monografia. Especialização em Agricultura Integrada na Amazônia - FCAP. 2001. 27 p.
- BEZERRA NETO, Egídio; BARRETO, Levy Paes. **As técnicas de hidroponia**. Anais da Academia Pernambucana de Ciência Agronômica. Recife, vols. 8 e 9, p.107-137. 2011.
- BRITO NETO, A. J. et al. **Monitoramento de um cultivo hidropônico através de um circuito de automação e controle**. Cadernos de Graduação. v.3, n.1, p.105-116. 2015.
- BROCH, Dirceu Luiz; RANNO, Sidnei Kuster. **Fertilidade do solo, adubação e nutrição da cultura da soja**. In: Fundação MS, Tecnologia de produção de soja e milho 2008/2009. Maracaju, 2008. p. 5-36. .

CAMARGO FILHO, Waldemar P.; CAMARGO, Felipe P.. **Uma revisão rápida da produção e comercialização das principais hortaliças no Brasil e no mundo de 1970 a 2015.** Horticultura Brasileira. vol.35, n.2. Vitória da Conquista. Abr./jun. 2017. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-05362017000200160&lng=en&tlng=en](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-05362017000200160&lng=en&tlng=en).

CAMPO elétrico magnético. **E-física.** 2007. Disponível em: [http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo/campo\\_eletrico\\_unif/](http://efisica.if.usp.br/eletricidade/basico/campo/campo_eletrico_unif/). Acesso em: junho de 2020.

CARRASCO, G.; IZQUIERDO, J.A. **A Média empresa hidropônica: a técnica da solução nutritiva recirculante (“NFT”).** Talca, Chile: Universidade de Talca/FAO. 1996. 91 p.

CARRIJO, Osmar A.; MAKISHIMA, Nozomu. **Princípios de Hidroponia.** Embrapa. Novembro de 2000. Disponível em: <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/CNPH-DOCUMENTOS-22-PRINCIPIOS-DE-HIDROPONIA.pdf>.

DALLAS [Dallas Semiconductor]. **Termômetro digital de 1 fio de resolução programável.** 2020. Disponível em: <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/227472/DALLAS/DS18B20/216/1/DS18B20.html>.

CTA – Centro de tecnologia acadêmica. **De olho nas águas: Medidor de condutividade elétrica para fins de monitoramento ambiental.** IF/UFRGS. Disponível em: [http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado\\_da\\_Arte](http://cta.if.ufrgs.br/projects/medidor-de-condutividade-eletrica-monitoramento-ambiental/wiki/Estado_da_Arte). Acesso em: julho de 2020.

DO VAL, A. M. G., DOMINGUES, R. Z., MATENCIO, T. Unidade V - Condutividade elétrica em soluções iônicas. Curso de Química, Modalidade Ensino a Distância, UFMG. p.143-153. 2013. Disponível em: [https://www.ufjf.br/quimicaead/files/2013/09/FQ\\_II\\_Condutividade.pdf](https://www.ufjf.br/quimicaead/files/2013/09/FQ_II_Condutividade.pdf). Acesso em: junho de 2020.

EMBRAPA. **Situação da Produção de Hortaliças no Brasil.** São Paulo/SP. 2011. Disponível em: [http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicasemnumeros/producaohortalicas\\_brasil2000201.pdf](http://www.cnph.embrapa.br/paginas/hortalicasemnumeros/producaohortalicas_brasil2000201.pdf). Acesso em: abril de 2020.

ELETROGATE. **Sensor de Nível de Água 90°.** Disponível em: <https://www.eletrogate.com/sensor-de-nivel-de-agua-90>. Acesso em: junho de 2020.

ENDRESS+HAUSER. **Technical Information Condumax CLS16D/CLS16.** 16 p. 2014. Disponível em: [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0393/000/09/TI00227CEN\\_1514.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000319/0393/000/09/TI00227CEN_1514.pdf). Acesso em: junho de 2020.

ENDRESS+HAUSER. **Technical Information Indumax CLS54D.** 12 p. 2018. Disponível em: [https://portal.endress.com/wa001/dla/5000532/7373/000/01/TI00508CEN\\_0218.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5000532/7373/000/01/TI00508CEN_0218.pdf). Acesso em: junho de 2020.

ENDRESS+HAUSER. **Technical Information Memosens CLS82D.** 16 p. 2017. Disponível em: [https://portal.endress.com/wa001/dla/5001021/1845/000/03/TI01188CEN\\_0417.pdf](https://portal.endress.com/wa001/dla/5001021/1845/000/03/TI01188CEN_0417.pdf). Acesso em: junho de 2020.

FAQUIN, V.; FURLANI, P.R. **Cultivo de hortaliças de folhas em hidroponia em ambiente protegido.** *Informe Agropecuário*, Belo Horizonte, v.20, n.200/201, p.99-104, 1999.

FELIPEFLOP. **Sensor de Temperatura DS18B20 a Prova D'água.** Disponível em: <https://www.filipeflop.com/produto/sensor-de-temperatura-ds18b20-a-prova-dagua/>. Acesso em: jun. 2020.

FILGUEIRA, F. A. R. Novo manual de olericultura: agrotecnologia moderna na produção e comercialização de hortaliças. 3. ed. Viçosa: UFV. 2008. 421 p.

FILHO, J. E.; MIRANDA, M. R. A.; SILVEIRA, J. A. G.. **Unidade IV: Nutrição Mineral das plantas.** Fisiologia Vegetal – UFC. p. 70-101. Disponível em: [http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/NUTRICA0\\_MINERAL.pdf](http://www.fisiologiavegetal.ufc.br/APOSTILA/NUTRICA0_MINERAL.pdf). Acesso em: maio de 2020.

FUJIWARA, Caio Hiroshi. **Desenvolvimento de um sensor de condutividade para a determinação do tempo de resposta de um sistema de pulverização agrícola com injeção direta.** 2015. 74p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 11 de novembro de 2015.

FURLANI, P. R.; SILVEIRA, L. C. P.; BOLONHEZI, D.; FAQUIN, V. **Cultivo hidropônico de plantas**. Campinas: Instituto Agrônomo, 1999. 52 p. Disponível em: [http://www.infobibos.com/Artigos/2009\\_1/hidroponiap1/index.htm](http://www.infobibos.com/Artigos/2009_1/hidroponiap1/index.htm).

HOMMA, A. K. O.; SANCHES, R. S.; MENEZES, A. J. E. A.; GUSMÃO, S. A. **Etnocultivo do jambu para Abastecimento da cidade de Belém**. Amazônia: Ci. & Desenv., v.6, n.12, p.125-141, 2011.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário – 2006**. ISSN 0103-6157. Censo agropecuário, Rio de Janeiro, p.1-777, 2006. Disponível em: [https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro\\_2006.pdf](https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/51/agro_2006.pdf).

LOPES, P. R. A.; SANTANA, A. C.; RODRIGUES, R. C. **Situação e perspectiva da cadeia produtiva de alface hidropônica na região metropolitana de Belém**. Horticultura Brasileira, Brasília, v.19, suplemento, CD-ROM. 2001.

MONTEZANO, E. M. PIEL, R. M. N. **Sistema de consorcio na produção de hortaliças**. Revista Brasileira de Agrociência. Pelotas, v. 12, n. 2, p. 129 -132. 2006.

MIYAZAWA, M.; KHATOUNIAN, C. A.; ODENATH-PENHA, L. A.. **Teor de nitrato nas folhas de Alface produzida em cultivo convencional, orgânico e hidropônico**. Agroecologia Hoje. Ano II. N. 7. 2001. p. 23.

MURGUERO JUNIOR, R.T.; PEREZ, A.L.F.; ABREU, C.S.P.; BASTOS T.J.; ANACLETO, V.L.; MORALES, R.G. F.; POZZEBON, E. **Automação de abrigos de culturas hidropônicas**. In: Tecnologias da Informação e Comunicação: Pesquisa e Inovação. Araranguá - Universidade Federal de Santa Catarina. 2016. p. 22-35.

OHSE, S.; NETO, D. D.; MANFRON, P. A.; SANTOS, O. S. S. **Qualidade de cultivares de alface produzidos em hidroponia**. Scientia Agrícola, 58: p.181-185. 2001.

pH. In: DICIONÁRIO online de Língua Portuguesa. 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/ph/>.

PONTE, Haroldo de Araújo. **DISCIPLINA: ELETROQUÍMICA APLICADA E CORROSÃO TQ-417**. Fundamentos da Corrosão. Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Paraná. 2003. 118 p.

RAMALHO, Sérgio Manuel Cordeiro. **Sensor de Condutividade com Condicionamento de Sinal**. 2009. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores) – Universidade Técnica de Lisboa. 2009. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139408909/DissertacaoSensor>. Acesso em: julho de 2020.

RAMOS, H. M. G.; RIBEIRO, A. L.; KOMAREK, M.; NOVOTNY, M.. **Development and characterization of a conductivity cell for water quality monitoring**. XVIII IMEKO World Congress. Rio de Janeiro. 2006. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/237713227\\_Development\\_and\\_characterization\\_of\\_a\\_conductivity\\_cell\\_for\\_water\\_quality\\_monitoring#read](https://www.researchgate.net/publication/237713227_Development_and_characterization_of_a_conductivity_cell_for_water_quality_monitoring#read). Acesso em: fevereiro 2020.

SANTANA, L.R.; CARVALHO, R.D.S.; LEITE, C.C.; ALCÂNTARA, L.M.; OLIVEIRA, T.W.S.; RODRIGUES, B.M. **Qualidade física, microbiológica e parasitológica de alfaces (*Lactuca sativa*) de diferentes sistemas de cultivo**. Ciência Tecnologia de Alimentos, v.26, n.2, p.264-269, 2006.

SANTOS, Osmar S. et al. **Produção de cinco cultivares de rúcula em duas soluções hidropônicas**. Bras. Agrociência, Pelotas, v.17, n.4-4, p.468-472. 2011.

SAS, Radiometer Analytical. **Conductivity Theory and Practice**. Villeurbanne - France. 2004. 50p. Disponível em: [http://www.analytical-chemistry.uoc.gr/files/items/6/618/agwgimometria\\_2.pdf](http://www.analytical-chemistry.uoc.gr/files/items/6/618/agwgimometria_2.pdf). Acesso em: junho de 2020.

SEDRA, Adel S.. **Microeletrônica**. 5ªed. Pearson Universidades, 2007. 864 p.

SNA - SOCIEDADE NACIONAL DE AGRICULTURA. **Cadeia produtiva de hortaliças movimenta R\$55 bi por ano no país.** 2016. Disponível em: <https://www.sna.agr.br/cadeia-produtiva-de-hortalicas-movimenta-r-55-bi-por-ano-no-pais/>. Acesso em: abril 2020.

SOUZA, H. Fernando. **Desenvolvimento e Atualizações Tecnológicas.** UFPR. Curitiba- PR. 2003. Disponível em: [www.tecnologia.ufpr.br/~souza/tech.htm](http://www.tecnologia.ufpr.br/~souza/tech.htm). Acesso em: maio 2020.

THOMSEN, Adilson. **O que é Arduino?**. 2014. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/o-que-e-arduino/>.

USINAINFO. **Sensor de pH Arduino + Módulo de leitura.** Disponível em: <https://www.usinainfo.com.br/outros-sensores-arduino/sensor-de-ph-arduino-modulo-de-leitura-5316.html>. Acesso em: maio de 2020.

USINAINFO. **Sensor de luz ambiente TEMENT6000.** Disponível em: [https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-luminosidade/sensor-de-luz-ambiente-temt6000-4859.html?search\\_query=Sensor+de+luz+ambiente+TEMT6000&results=1](https://www.usinainfo.com.br/sensor-de-luminosidade/sensor-de-luz-ambiente-temt6000-4859.html?search_query=Sensor+de+luz+ambiente+TEMT6000&results=1). Acesso em: maio de 2020.

VAL. **What is the Nutrient Film Technique - NFT? How does it work?.** 2018. Disponível em: <https://www.greenandvibrant.com/nutrient-film-technique>. Acesso em: setembro de 2020.

VILELA, Nirlene Junqueira; HENZ, Gilmar Paulo. **Situação atual da participação das hortaliças no agronegócio brasileiro e perspectivas futuras.** Cadernos de Ciência & Tecnologia, Brasília, v.17, n.1, p.71-89. 2000. Disponível em: [file:///C:/Users/Usuario/Downloads/8863-29351-1-PB%20\(1\).pdf](file:///C:/Users/Usuario/Downloads/8863-29351-1-PB%20(1).pdf).

VISHAY. **TEMT6000X01 - Ambient Light Sensor.** 2011. Disponível em: <https://www.vishay.com/docs/81579/temt6000.pdf>. Acesso em: jun. 2020.

VRIES, IM. **Origin and domestication of *Lactuca sativa* L.** Genetic Resources and Crop Evolution, 44:165-174. Disponível em: <https://doi.org/10.1023/A:1008611200727>.

## APÊNDICES

### APÊNDICE A - Cálculo do $L_{(-)}$

Temos que:

$$V_0 = L_{(-)} \quad \text{e} \quad V_A = -V_D$$

$$V_A = \frac{VR_3}{R_2 + R_3} + V_0 \times \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$-V_D = \frac{VR_3}{R_2 + R_3} + L_{(-)} \times \frac{R_2}{R_2 + R_3}$$

$$-L_{(-)} \times \frac{R_2}{R_2 + R_3} = \frac{VR_3}{R_2 + R_3} + V_D$$

$$-L_{(-)} \times R_2 = \frac{\frac{VR_3}{R_2 + R_3} + V_D}{R_2 + R_3}$$

$$-L_{(-)} \times R_2 = \frac{\frac{VR_3 + (R_2 + R_3)V_D}{R_2 + R_3}}{R_2 + R_3}$$

$$-L_{(-)} \times R_2 = VR_3 + (R_2 + R_3)V_D$$

$$-L_{(-)} = \frac{VR_3 + (R_2 + R_3)V_D}{R_2}$$

$$-L_{(-)} = \frac{VR_3}{R_2} + \frac{(R_2 + R_3)V_D}{R_2}$$

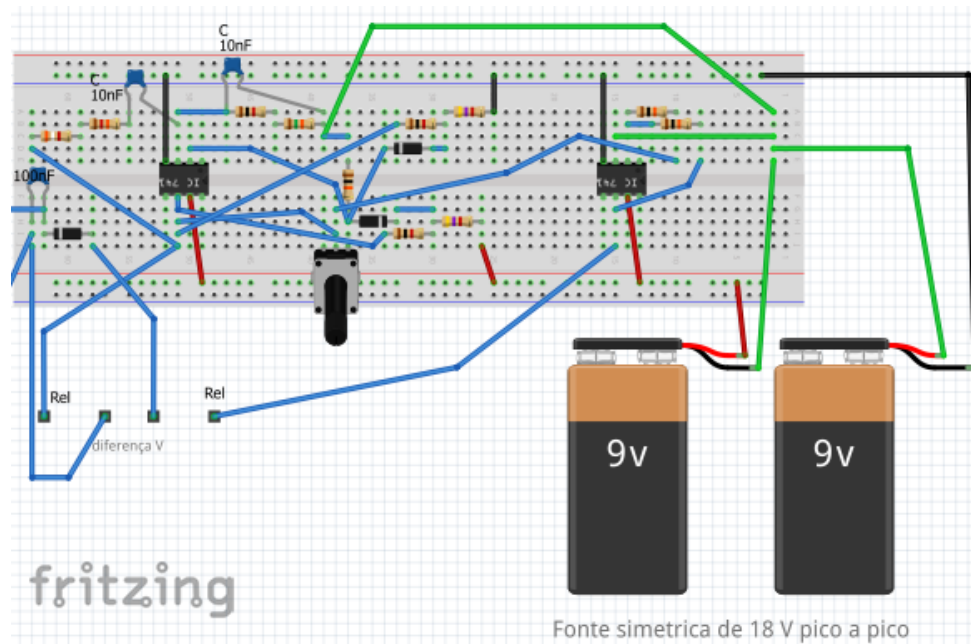
$$-L_{(-)} = \frac{VR_3}{R_2} + \left( \frac{V_D R_2}{R_2} + \frac{V_D R_3}{R_2} \right)$$

$$-L_{(-)} = \frac{VR_3}{R_2} + V_D \times \left( \frac{R_2}{R_2} + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

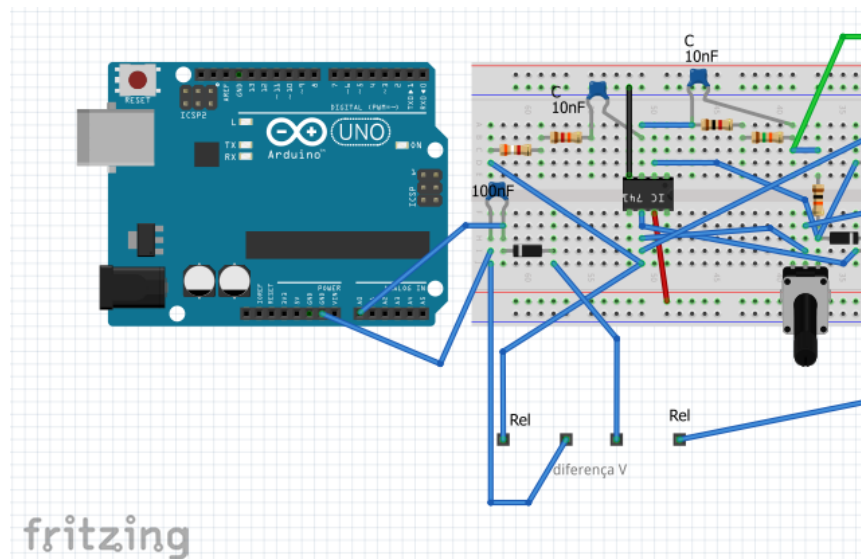
$$-L_{(-)} = \frac{VR_3}{R_2} + V_D \times \left( 1 + \frac{R_3}{R_2} \right) \times (-1)$$

$$L_{(-)} = -\frac{VR_3}{R_2} - V_D \times \left( 1 + \frac{R_3}{R_2} \right)$$

## APÊNDICE B - Circuito montado do sensor de condutividade



Circuito montado do sensor de condutividade. Fonte: Autor



Conexão do Arduino com o detector de envoltória para ler a diferença de potencial entre os  $R_{el}$ . Fonte: Autor.

### Observação:

A entrada analógica utilizada no Arduino para ler o sinal do sensor de condutividade é a  $A_0$ , pode-se também notar o detector de envoltória na saída do sinal do sensor (representado pelo arranjo do capacitor de 100nF e o diodo).

## APÊNDICE C – Programação do Arduino

**Observação:** Algumas das bibliotecas apresentadas na programação foram adicionadas no IDE, como por exemplo a DallasTemperature.h e Wire.h. A maneira mais simples de adicionar bibliotecas em falta é seguir os seguintes passos:

**Passo 1:** Ir na barra de configuração na parte superior do IDE e clicar em Sketch.

**Passo 2:** Clicar em Incluir biblioteca.

**Passo 3:** Clicar em Gerenciar biblioteca.

**Passo 4:** Pesquisar a biblioteca que você deseja adicionar no IDE e adicionar.

```
//=====
=====
// CODIGO DE PROGRAMAÇÃO DO PROTÓTIPO DE AUTOMATIZAÇÃO DE UM SISTEMA DE
HIDROPONIA NFT
//=====
=====

// DECLARANDO AS VARIÁVEIS E BIBLIOTECAS UTILIZADAS NO PROGRAMA
//=====
#include <LiquidCrystal.h>
LiquidCrystal lcd(A3, A4, 11, A2, 2, 10);

//(BOMBA DE REFLUXO DA SOLUÇÃO)
void bomba_RS();
unsigned long tempo=0; //variavel para tratar valores do millis()
int temporizador=0; //variavel de status do temporizador
int bomba= 13; // pino responsavel pelo acionamneto do rele da bomba
//-----

//(BOIA DE NIVEL DE SOLUÇÃO)
void boia_sensor();
int boia = 8;
int rele_boia = 9;
//-----
```

```

//(SENSOR DE TEMPERATURA)
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
void sensor_temperatura();
// Porta do pino de sinal do DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 5
int rele_temperatura = 7;
// Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);

// Armazena temperaturas minima e maxima
float tempMin = 999;
float tempMax = 0;

DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensor1;
//-----

//(SENSOR DE PH)
void ph();
float calibracao = 15; //change this value to calibrate
const int analog_ph = A0;
int sensorValue = 0;
unsigned long int avgValue;
float b;
int buf[10],temp;
int rele_ph = 3;
//-----

//(SENSOR DE CONDUTIVIDADE)
void conduct();
const int analog_conduct = A1;
int rele_conduct = 6;
//-----

```

```

//(SENSOR DE LUZ)
void luz();
const int analog_luz = A5;
int sensor_luz = 0;
//-----

void setup(){
  Serial.begin(9600);
  lcd.begin(16, 2);

  //      (bomba de refluxo da solução)

  pinMode(bomba,OUTPUT); // declarando o pino como saída
  //-----

  //      (boia de nivel de solução)

  pinMode(boia, INPUT); // declarando pino como entrada
  pinMode(rele_boia, OUTPUT); // declarando o pino como saída
  //-----

  //      (sensor de temperatura)

  sensors.begin();
  // Localiza e mostra enderecos dos sensores
  Serial.println("Localizando sensores DS18B20...");
  Serial.print("Foram encontrados ");
  Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
  Serial.println(" sensores.");
  if (!sensors.getAddress(sensor1, 0))
    Serial.println("Sensores nao encontrados !");
  // Mostra o endereco do sensor encontrado no barramento
  Serial.print("Endereco sensor: ");
  mostra_endereco_sensor(sensor1);

```

```

Serial.println();
Serial.println();
pinMode(rele_temperatura,OUTPUT);
//-----

//      (sensor de ph)

pinMode(rele_ph,OUTPUT);
//-----

//      (sensor de condutividade)

pinMode(rele_condut,OUTPUT);
//-----

}

//      (sensor de temperatura)
void mostra_endereco_sensor(DeviceAddress deviceAddress)
{
for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
{
// Adiciona zeros se necessário
if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
}
}
//-----

void loop(){

bomba_RS();
boia_sensor();
sensor_temperatura();

```

```

ph();
conduT();
luz();
}
//-----

// -----(bomba de refluxo da soluçãO) -----

void bomba_RS(){
sensor_luz = analogRead(analog_luz);

if(temporizador==0 && sensor_luz>10) { //se temporizador está em zero
digitalWrite(bomba,HIGH); // bomba ligada
temporizador = 1; // mudar status de temporizador
tempo=millis(); // passar valor de millis para variavel tempo
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("L=D");
}
if (millis()-tempo >=1000&&temporizador == 1 && sensor_luz>10) { //se tempo maior que 5 seg. e
temporizador em 1
digitalWrite(bomba,LOW);
temporizador =2;
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("L=D");
}
if (millis()-tempo >=2000&&temporizador == 2 && sensor_luz>10) { //se tempo maior que 5 seg. e
temporizador em 2
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("L=D");
temporizador =0;
}
}
//-----

//----- (boia de nivel de soluçãO)-----

```

```

void boia_sensor(){
  int estado = digitalRead(boia);
  Serial.print("Leitura do sensor boia : ");
  Serial.println(estado);
  switch(estado)
  {
  case 0: // caso o estado do sensor de nivel esteja em LOW

    Serial.println("Reservatorio cheio");
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("NS=OK");
    digitalWrite(rele_boia,1); // ligar bomba para repor o nivel da soluçao

    delay(500);
    break;
  case 1: // caso o estado do sensor de nivel esteja em HIGH

    Serial.println("Reservatorio vazio");
    digitalWrite(rele_boia,0);
    lcd.setCursor(4, 1);
    lcd.print("NS=!!");
    delay(500);
    break;
  }

}

//-----

//------(sensor de temperatura)-----

void sensor_temperatura(){
  // Le a informacao do sensor
  sensors.requestTemperatures();
}

```

```

float tempC = sensors.getTempC(sensor1);
// Atualiza temperaturas minima e maxima
if (tempC < tempMin)
{
    tempMin = tempC;
}
if (tempC > tempMax)
{
    tempMax = tempC;
}
// Mostra dados no serial monitor
Serial.print("Temp C: ");
Serial.print(tempC);
Serial.print(" Min : ");
Serial.print(tempMin);
Serial.print(" Max : ");
Serial.println(tempMax);
lcd.setCursor(0, 0);
lcd.print("T=");
lcd.setCursor(2, 0);
lcd.print(tempC);
if (tempC>25){
    digitalWrite(rele_temperatura,HIGH);
}
else {
    digitalWrite(rele_temperatura,LOW);
}
}
//-----

//------(sensor de ph)-----

void ph(){
    for(int i=0;i<10;i++)
    { buf[i]=analogRead(analog_ph);

```

```
delay(30);
}
for(int i=0;i<9;i++){
  for(int j=i+1;j<10;j++)
  {
    if(buf[i]>buf[j])
    {
      temp=buf[i];
      buf[i]=buf[j];
      buf[j]=temp;
    }
  }
}
avgValue=0;
for(int i=2;i<8;i++)
avgValue+=buf[i];
float pHVol=(float)avgValue*5.0/1024/6;
float pHValue = -5.70 * pHVol + calibracao ;
Serial.print("sensor = ");
Serial.println(pHValue);
lcd.setCursor(8, 0);
lcd.print("PH=");
lcd.setCursor(11, 0);
lcd.print(pHValue);

if (pHValue>6.5){
  digitalWrite(rele_ph,HIGH);
  delay (1000);
  digitalWrite(rele_ph,LOW);
  delay(10000);

}
else {
  digitalWrite(rele_ph,LOW);
}
```

```

}
//-----

//------(sensor de condutividade)-----

void condut(){
  Serial.println(analogRead(A1));
  if (200<analogRead(A1)<=270){
    Serial.println("cond = OK");
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print("CE=OK");
    digitalWrite(rele_condut,LOW);
  }
  else {
    Serial.println("cond = !!");
    lcd.setCursor(10, 1);
    lcd.print("CE=!!");
    digitalWrite(rele_condut,HIGH);
    delay (2000);
    digitalWrite(rele_condut,LOW);
    delay (10000);
  }
}
//-----

//------(sensor de luz)-----
void luz(){
  sensor_luz = analogRead(analog_luz);
  Serial.print("sensor luz = " );
  Serial.println(sensor_luz);
  if(sensor_luz<=10){
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print("L=N");
    digitalWrite(bomba,HIGH);
    delay(5000);
  }
}

```

```
digitalWrite(bomba,LOW);  
delay(5000);  
}  
  
}
```