

UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO
CENTRO UNIVERSITÁRIO NORTE DO ESPÍRITO SANTO
ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO

GUILHERME ULIANA DOS REIS

**Dispositivo eletrônico medidor de condutividade
elétrica e temperatura**

São Mateus-ES
2018

GUILHERME ULIANA DOS REIS

Dispositivo eletrônico medidor de condutividade elétrica e temperatura

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação de Engenharia de Computação, da Universidade Federal do Espírito Santo, do Centro Universitário Norte do Espírito Santo como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Graduando de Engenharia de Computação.

Orientador: Flávio Duarte Couto de Oliveira
Coorientador: Aloísio José Bueno Cotta

São Mateus-ES
2018

Guilherme Uliana dos Reis

Dispositivo eletrônico medidor de condutividade elétrica e temperatura

IMPORTANTE: ESSE É APENAS UM TEXTO DE EXEMPLO DE FOLHA DE APROVAÇÃO. VOCÊ DEVERÁ SOLICITAR UMA FOLHA DE APROVAÇÃO PARA SEU TRABALHO NA SECRETARIA DO SEU CURSO (OU DEPARTAMENTO).

Trabalho aprovado. São Mateus-ES, DATA DA APROVAÇÃO:

Flávio Duarte Couto de Oliveira
Orientador

Professor
Convidado 1

Professor
Convidado 2

São Mateus-ES
2018

Dedico este trabalho primeiramente a Deus, por ser essencial em minha vida.

Aos meus pais, meu irmão, minha irmã e a toda minha família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa de minha vida.

Ao Curso de Engenharia da Computação, e às pessoas com quem convivi nesses espaços ao longo desses anos. A experiência de uma produção compartilhada na comunhão com amigos nesses espaços foram a melhor experiência da minha formação acadêmica.

Agradecimentos

Primeiramente, a Deus que permitiu que tudo isso acontecesse, ao longo de minha vida, e não somente nestes anos como universitário, mas que em todos os momentos. É o maior mestre que alguém pode conhecer.

Agradeço à minha mãe Sulemar, minha heroína, que sempre esteve ao meu lado nos momentos difíceis e foi a minha maior incentivadora. Ao meu pai do coração Richard que me ensinou o que é certo e errado e sempre foi minha referência. Aos meus irmãos Gabriel e Eduarda que acreditaram no meu sonho e me deram forças sempre. Ao meu pai Renato que já está junto com Deus, mas sem ele não estaria aqui.

Agradeço aos meus queridos professores que se dedicaram a ensinar e compartilhar todo o seu conhecimento. Um agradecimento especial aos meus orientadores que fez toda a diferença na orientação do meu trabalho de conclusão de curso.

Agradeço a todos os meus amigos que torceram e vivenciaram vários momentos inesquecíveis comigo. Um agradecimento especial para todos os meus amigos que fiz durante a minha graduação. Pelos momentos de alegrias e tristezas, sorrisos e choros que compartilhamos. Serão lembrados pelo resto da minha vida.

Por fim, agradeço a toda minha família e a todos que contribuíram direta ou indiretamente para a realização desse sonho.

*“Não importa o que aconteça,
continue a nadar.” - (WAL-
TERS, GRAHAM; PROCU-
RANDO NEMO, 2003.)*

Resumo

Em todo mundo, o abastecimento de água tem como principal fonte a água de rios e lagos. A maior parte da população mundial vive em zonas costeiras. Nessas áreas, as águas da foz dos rios são suscetíveis a intrusões salinas que podem tornar a água inviável para consumo. Este trabalho tem como objetivo principal utilizar conhecimentos físicos, químicos, de automação e computacionais para o desenvolvimento de um dispositivo eletrônico capaz de armazenar dados relacionados à condutividade e temperatura da água de um rio por um determinado tempo. O protótipo desenvolvido foi um condutivímetro. Esse dispositivo armazena dados de tempo, condutividade, temperatura em um cartão de memória que pode ser aberto em editor de planilha. Esses dados podem ser utilizados para determinar a salinidade de água, determinando a intrusão salina nos rios. Com isso, além de promover o monitoramento ambiental e análise da água do rio, este projeto pode resultar em uma ferramenta simples e econômica capaz de ajudar pesquisadores em suas pesquisas referentes a qualidade da água.

Palavras-chave: condutividade elétrica, condutivímetro, protótipo, água salgada, monitoramento de rios, eletrodos.

Abstract

Throughout the world, water supply has as its main source of water from rivers and lakes. Most of the world's population lives by the seaside. In these areas, river water is susceptible to saline intrusions that may turn it unviable for consumption. This work aims for the development of an electronic device able to store data related to river water conductivity and temperature for a period of time. The developed prototype was a conductivity meter. This device stores time, conductivity and temperature data on a memory card that can be opened in any spreadsheet editor. This data can be used for determining the salinity of water, and so specifying how salt intrusion in the river. Thus, in addition to providing the environmental monitoring and river water analysis, this project may result in a simple and economical tool that can help researchers in their work on water quality.

Keywords: conductivity, conductivity, prototype, salt water, river monitoring, electrodes.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Trecho monitorado do Rio São Mateus.	13
Figura 2 – Perfis longitudinais da condutividade elétrica da água ao longo do rio São Mateus, a partir da Foz.	14
Figura 3 – Migração de íons numa solução.	18
Figura 4 – Célula com respectivas dimensões.	19
Figura 5 – Acumulação de íons na superfície do eletrodo	20
Figura 6 – Comportamento das linhas de campo elétrico.	20
Figura 7 – Sinal do Pulso Bipolar.	21
Figura 8 – Modelo da Célula de Condutividade.	22
Figura 9 – A célula de condutividade sem eletrodos.	24
Figura 10 – Diagrama simplificado de uma célula de dois eletrodos.	24
Figura 11 – Circuito de Medição de Condutividade de Quatros Eletrodos.	25
Figura 12 – Visão Geral.	27
Figura 13 – Arduino UNO.	28
Figura 14 – Sensor de Temperatura.	29
Figura 15 – Módulo Real Time Clock.	29
Figura 16 – Módulo de Leitura e Escrita de Cartão de Memória.	30
Figura 17 – Circuito Divisor de Tensão Ilustrativo.	30
Figura 18 – Circuito montado.	31
Figura 19 – Visão lateral e panorâmica do protótipo.	32
Figura 20 – Variações dos parâmetros da Água Doce.	33
Figura 21 – Tabela com valores de condutividade em destaque que se aproximam com o medido.	33
Figura 22 – Valores de condutividade utilizado como referência de saída.	33
Figura 23 – Valores de condutividade medida usando o Pulso Bipolar.	34
Figura 24 – Comparação de valores medidos, reais e calculados de condutividade elétrica.	37

Lista de gráficos

Gráfico 1 – Gráfico de Dispersão.	35
Gráfico 2 – Gráfico de Dispersão - Aproximação da Reta 1.	35
Gráfico 3 – Gráfico de Dispersão - Aproximação da Reta 2.	36
Gráfico 4 – Gráfico de Dispersão - Aproximação da Reta 3.	36

Lista de tabelas

Tabela 1 – Unidades e valores típicos de condutividade.	19
Tabela 2 – Tabela com as medidas dos eletrodos.	30
Tabela 3 – Custos dos componentes do projeto	37

Sumário

1	Introdução	13
2	Objetivo	16
2.1	Objetivos Gerais	16
2.2	Objetivos Específicos	16
3	Fundamentação Teórica	17
3.1	Condutividade Elétrica	17
3.2	Influências nas Medições	19
3.2.1	Polarização	20
3.2.2	Geometria	20
3.2.3	Temperatura	21
3.2.4	Frequência	21
3.3	Técnica de Medição: Pulso Bipolar	21
4	Medidores de Condutividade Elétrica	23
4.1	Tipos de Medidores	23
4.1.1	Sensores de Condutividade Indutivos	23
4.1.2	Sensores de Condutividade de 2 Eletrodos	24
4.1.3	Sensores de Condutividade de 4 Eletrodos	25
4.2	Medidores e Novas Tecnologias	26
5	Metodologia	27
5.1	Visão Geral	27
5.2	Componentes e Características	27
5.2.1	Microcontrolador Arduino Uno	27
5.2.2	Bateria	28
5.2.3	Sensor de Temperatura DS18B20	28
5.2.4	Módulo <i>Real Time Clock</i> DS3231	29
5.2.5	Módulo de Leitura e Escrita de Cartão de Memória	29
5.2.6	Eletrodos	30
5.3	Procedimentos	30
6	Resultados e Discussão	33
6.1	Descrição	33
6.2	Custo do Projeto	37
7	Conclusão	39

Referências 40

1 Introdução

A água é um recurso natural essencial para toda vida. É um bem fundamental tanto para o desenvolvimento econômico quanto social. A rede hidrográfica brasileira é considerada uma das mais ricas do globo terrestre.

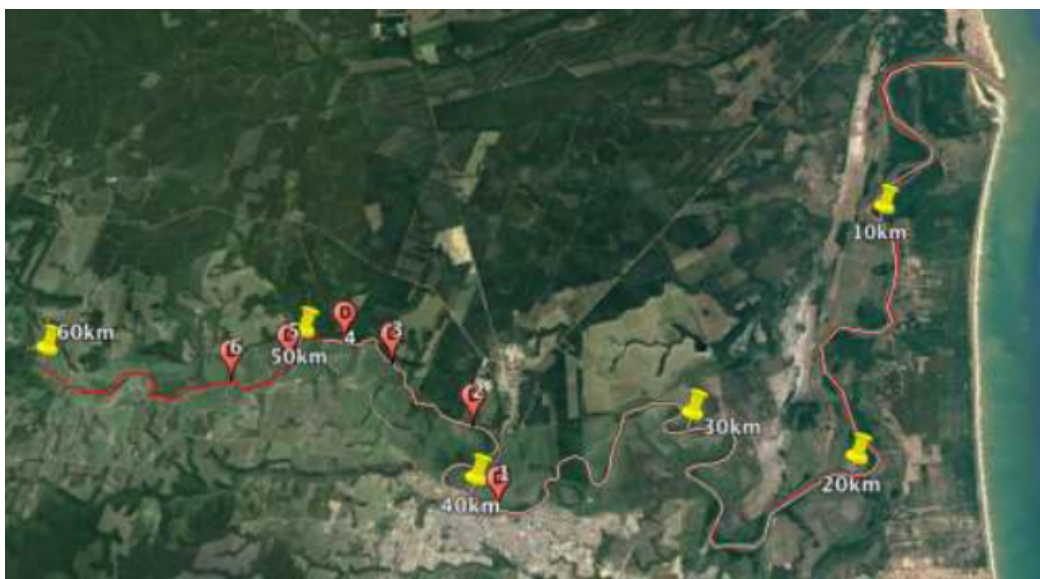
Uma das principais característica da hidrografia do Brasil é que o destino dos rios é exorréico, ou seja, deságua no mar (ANEEL, 1998). O problema da salinização está relacionado com as zonas costeiras. É muito difícil evitar misturar água doce com água salgada.

Geralmente, cidades litorâneas utilizam dos rios para o abastecimento de água para a população local. Em períodos de secas prolongadas acabam provocando a diminuição do nível do rio, dessa forma, possibilita o avanço da água marinha. Com isso, essa ascensão prejudica a captação da água gerando problemas para a população.

O monitoramento diário da salinidade da água dos rios, tem a finalidade apurar a distância que a água salgada está adentrando aos limites dos rios. Baseando-se nessas informações, obtidas através da coleta de dados, é possível analisar o estado da água a fim de resolver o problema da salinização da mesma.

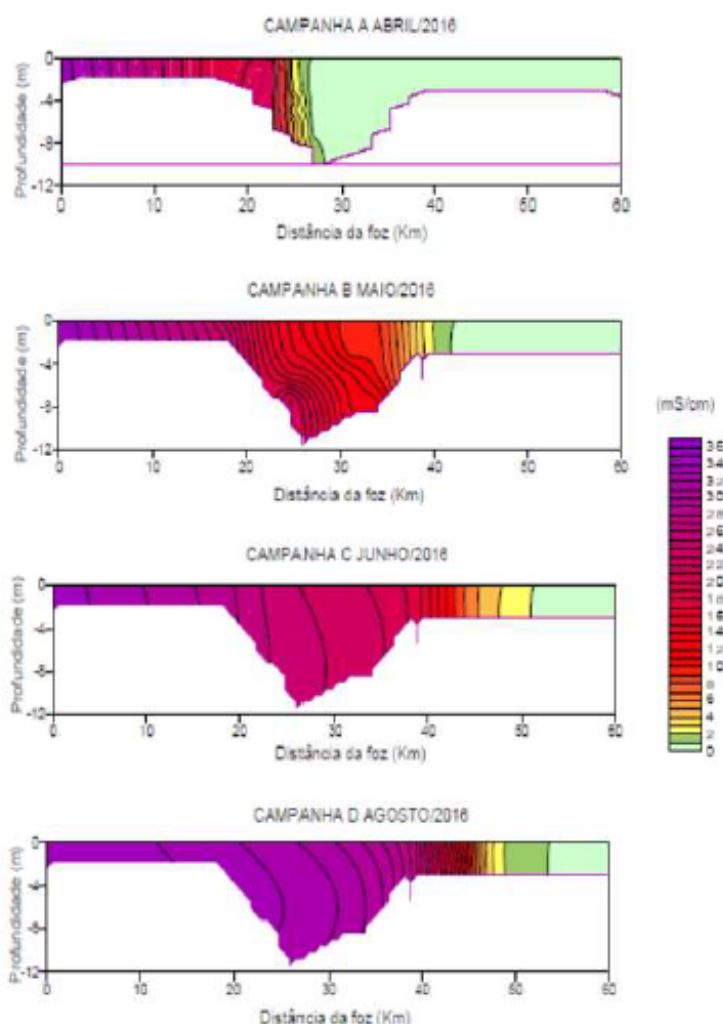
A qualidade das águas do rio São Mateus é monitorada dentro no âmbito do projeto: “Caracterização hidroquímica e avaliação da qualidade da água do Rio São Mateus, São Mateus-ES”. Recentemente um estudo complementar foi realizado, entre 2016 e 2017, com foco no monitoramento da intrusão salina de água marinha no rio São Mateus, figuras 1 e 2. Processo este que comprometeu o abastecimento público por diversos meses na cidade de São Mateus.

Figura 1 – Trecho monitorado do Rio São Mateus.



Tomando como referência o ponto de captação de água do SAAE, localizado no quilômetro 40, nota-se que em 08/04/2016 este ponto ainda não tinha influência da água do mar e, portanto, apenas água doce era captada. No mês seguinte, 06/05/2016, com o agravamento da falta de chuva a vazão do rio foi reduzida, o que permitiu o avanço da intrusão salina e elevação da condutividade elétrica da água no ponto de captação. Análises paralelas, em 13/04/2016, revelaram que o teor de cloretos atingiu valores de 300 mg/L na água distribuída às casas da população, superando o limite de 250 mg/L (estabelecido na Portaria MS Nº 2914 de 12/12/2011).

Figura 2 – Perfis longitudinais da condutividade elétrica da água ao longo do rio São Mateus, a partir da Foz.



Os dados de Junho e Agosto/2016 revelaram um avanço da intrusão salina em um trecho de 15km acima do atual ponto de captação e demonstram o elevadíssimo teor de sais nas águas no atual ponto de captação, o que confirma a necessidade da instalação de uma nova captação para abastecimento público. Os dados obtidos indicam que uma nova captação deve ser construída considerando-se essa distância mínima de 15km

da atual (55km da foz).

Tendo como referência o valor de 55 mS/cm para a condutividade elétrica da água do mar, em Agosto/2016 a condutividade da água próximo à captação apresentava valores de 30mS/cm, ou seja, mais da metade de água neste ponto possuía origem marinha (SANTOS; LOZER; COTTA, 2017).

Nesse contexto, o objetivo principal deste projeto é desenvolver um protótipo eletrônico capaz de coletar informações sobre o rio, tais, a coleta de valores da condutividade elétrica e temperatura da água. O monitoramento do rio será facilitado por meio deste dispositivo.

Basicamente, o equipamento deverá permanecer submerso no ambiente do monitoramento onde será realizada a coleta de dados com o auxílio de um microcontrolador, por um período de tempo específico. Os parâmetros são importantes para a determinação da salinidade da água do rio.

Este trabalho foi dividido em sete capítulos. O primeiro, traz a parte introdutória do trabalho. No segundo, expõem seus os abjetivos principais. O terceiro capítulo, apresenta a base teórica sobre conceitos de condutividade elétrica bem como suas influências e a técnica de medição utilizada. O quarto capítulo retrata as categorias de medidores de condutividade existente atualmente. No quinto, apresenta a metodologia desenvolvida utilizada. O sexto capítulo descreve os resultados e discussões. Finalmente, o sétimo capítulo mostra as conclusões do trabalho.

2 Objetivo

Apesar de existirem diversos dispositivos capazes de mensurar condutividade elétrica e apresentá-lo ao usuário, não existe um dispositivo capaz de fazê-lo de forma autônoma, com recursos diferenciados. Dessa forma, o pesquisador tem a possibilidade de guardar suas aferições. Por esse motivo a construção de um protótipo, que possa entregar mais possibilidades ao usuário, permitindo que o monitoramento de rios seja feita de forma mais prática.

Neste trabalho é usado uma solução que agrega o 'hardware' com o 'software' possibilitando a coleta de dados necessários para a análise da qualidade da água. O objetivo principal consiste em efetuar as medições de condutividade em uma ampla faixa de valores, para assim fazer o monitoramento necessário.

2.1 Objetivos Gerais

- Construir e desenvolver um protótipo capaz de armazenar dados relacionados à condutividade e temperatura da água.
- Assegurar que os valores medidos pelo equipamento sejam corretos e seguros.

2.2 Objetivos Específicos

- Guardar as informações coletadas no cartão de memória;
- Utilizar a melhor técnica de medição para o problema;
- Escolher o melhor tipo de sensor de temperatura para ser utilizado;
- Desenvolver um protótipo de baixo custo.

3 Fundamentação Teórica

Serão apresentados conceitos teóricos acerca da condutividade elétrica, definições e dimensionamento, influências geradas nas medições e conceito teórico sobre a técnica de medição adotada.

3.1 Condutividade Elétrica

Uma definição formal exata foi dada por Kubo (1957) para a condutividade elétrica dos metais. Em sua teoria, a corrente elétrica é interpretada como a corrente de resposta para uma força externa que é adiabaticamente aplicada ao sistema e na expansão de Taylor da corrente de resposta em termos da força externa, o coeficiente do termo linear que tem sido interpretado como a condutividade elétrica pode ser escrita em uma expressão formal exata. A condutividade observada, no entanto, é o quociente da corrente de resposta dividida pelo campo elétrico macroscópico no sistema.

Portanto, a condutividade elétrica é definida como a capacidade de um material em estado sólido, líquido ou gasoso em conduzir corrente elétrica (RAMALHO, 2009). Esta propriedade é estabelecida como uma quantidade que representa a flexibilidade de um material em possibilitar o transporte do fluxo de eletricidade ao longo das suas dimensões (FRADEN, 2010). Um fator de extrema importância para esta propriedade é a quantidade de elétrons livres em um material, uma vez que quanto maior a quantidade de elétrons livres, maior é a capacidade deste em conduzir eletricidade.

A capacidade de uma solução, ou seja, mistura homogênea de substâncias puras na qual não há precipitação em conduzir corrente elétrica depende da presença de íons, da sua concentração, mobilidade e valência. Pode-se recorrer à medição da condutividade na água para se determinar concentrações de minerais ou outros tipos de íons. Enquanto num condutor metálico, a corrente elétrica é o fluxo de elétrons que se move ao longo do material, na água, a corrente elétrica é constituída por íons em vez de elétrons (RAMALHO, 2009).

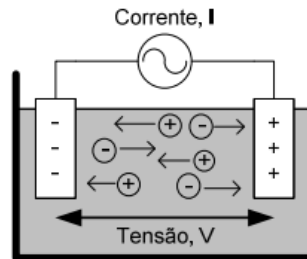
A condutividade é definida como a razão entre a densidade de corrente (\overline{J}) e o campo elétrico (\overline{E}), dado pela equação abaixo:

$$\overline{J} = \sigma * \overline{E} \quad (3.1)$$

Sob a influência de uma diferença de potencial aplicada entre dois eletrodos em um meio eletrolítico, os íons da solução são acelerados de um eletrodo em direção ao outro de carga oposta, porém, com velocidade de migração limitada pela resistência do solvente ao movimento das partículas (FRADEN, 2010). Com isso, para medir

a condutividade de uma solução aquosa, basta aplicar uma tensão alternada a dois eletrodos inertes e submersos numa solução e medir a tensão resultante ao longo da amostra, como mostrado na figura 3 (RAMALHO, 2009).

Figura 3 – Migração de íons numa solução.



(RAMALHO, 2009)

Para prevenir qualquer tipo de alteração na amostra devido à movimentações de íons e reações eletromecânicas nos eletrodos, a tensão alternada é sempre usada para medições. Sistemas de medição devem controlar a corrente, a tensão e a frequência para minimizar erros associados à polarização e capacitância dos eletrodos (RAMALHO, 2009).

A resistência (R), em ohms [Ω], e a condutância elétrica (G), em Siemens [S] de um material podem ser definidas pela Lei de Ohm de forma que:

$$R = \frac{V}{I} \quad (3.2)$$

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{V} \quad (3.3)$$

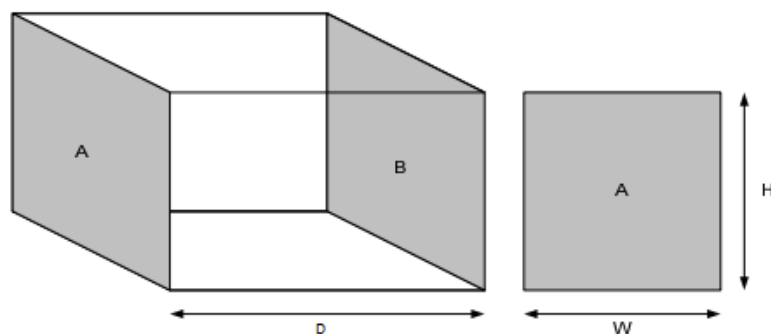
Onde I é a corrente em amperes [A] que percorre o material e V é a tensão em 'volts' [V] aplicada em suas extremidades. A medição da condutividade é representado por σ (S/cm) depende também da área da superfície dos eletrodos utilizados e da distância entre eles. Na relação entre estes dois fatores é incluída uma constante geométrica definida por K_c é denominado em constante de célula (FUJIWARA, 2015).

$$\sigma = \frac{K_c}{R} = K_c * G \quad (3.4)$$

A constante de célula (cm^{-1}) é a relação entre as áreas dos eletrodos e a distância entre eles e calculado pela fórmula abaixo onde A é a área do eletrodo (cm^2) e D é a distância entre os eletrodos.

$$K_c = D * A \quad (3.5)$$

Figura 4 – Célula com respectivas dimensões.



(RAMALHO,2009)

Esta célula quando preenchida com uma solução permite a medição da condutividade entre as faces metálicas A e B, apresentado na figura 4.

Tabela 1 – Unidades e valores típicos de condutividade.

Medida	Aplicação	Unidades
Resistência	Circuito Elétrico	Ohm (Ω)
Condutância	Circuito Elétrico	$Ohm^{-1}(\Omega^{-1}) = \text{Siemens (S)}$
Resistividade	Água de pureza elevada	Ohm centímetro ($\Omega \cdot \text{cm}$)
Condutividade	Amostras de águas	Siemens por centímetro(S/cm)

Na tabela 1 indicam-se as unidades usadas para várias categorias de medida de determinadas aplicações. Os valores típicos de condutividade são sempre referenciados para uma temperatura específica, habitualmente 20° C ou 25° C, para poderem ser comparados a influência dos efeitos da temperatura (FRADEN, 2010).

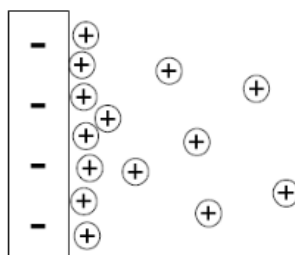
3.2 Influências nas Medições

Entre os principais fatores que interferem na medição da condutividade, que comprometem a precisão e exatidão das medições estão a polarização de campo, a contaminação, a geometria do eletrodo, a frequência e a temperatura do meio (RAMALHO, 2009).

3.2.1 Polarização

Ao aplicar uma corrente elétrica aos eletrodos pode-se criar uma resistência de polarização na superfície do eletrodo que pode levar a resultados errados já que altera a resistência da solução, conforme é apresentado na figura 5.

Figura 5 – Acumulação de íons na superfície do eletrodo.



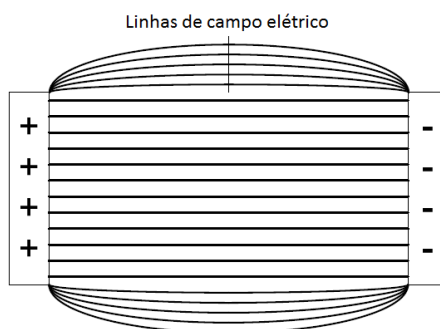
(RAMALHO,2009)

Para evitar esse efeito é necessário aplicar uma tensão alternada. Pode-se também utilizar outras formas para conter esse problema tais como: cobrir o eletrodo com platina ou usar uma célula de condutividade de quatro eletrodos (RAMALHO, 2009).

3.2.2 Geometria

Este tipo de erro deve-se aos efeitos de campo elétrico que são partes do campo medido que ficam fora do espaço geométrico entre os eletrodos. Estas linhas de campo podem afetar as medições se algo interferir com elas, de acordo com a figura 6. Se o campo elétrico medido estiver todo contido no volume da célula então esses erros não se registram (RAMALHO, 2009).

Figura 6 – Comportamento das linhas de campo elétrico.



(RAMALHO,2009)

3.2.3 Temperatura

Um dos fatores que mais afeta a condutividade da solução é a temperatura. A viscosidade é função da temperatura, sendo enquanto maior a temperatura, menor a viscosidade, o que facilita o movimento dos íons. Um sensor deve medir a condutividade e respectiva temperatura da solução, para depois converter o valor da condutividade à temperatura de referência, usando uma função de correção, e então seria possível comparar valores (SOLOMAN, 2010).

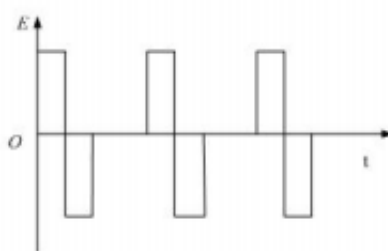
3.2.4 Frequência

Nos sensores de condutividade, a frequência é automaticamente ajustada conforme o aumento da condutância da solução, evitando assim erros de polarização a altas condutividades. Normalmente, baixas frequências são aplicadas para baixas condutividades e altas frequências são aplicadas para altas condutividades em que a resistência da solução é baixa (RAMALHO, 2009).

3.3 Técnica de Medição: Pulso Bipolar

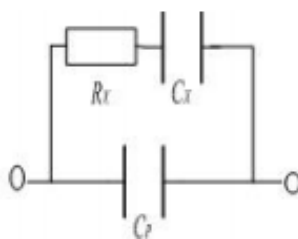
A técnica do pulso bipolar envolve a aplicação de dois pulsos de tensão constante sucessivos de igual magnitude, mas polaridade oposta à célula de condutância, e a medição da corrente passando através da célula no final do segundo pulso, mostrado na figura 7 (JOHNSON; ENKE, 1970). Esta técnica pode ser facilmente ajustada para a medição da condutividade elétrica e é principalmente usada para evitar a influência dos efeitos de polarização, de capacitância e de temperatura.

Figura 7 – Sinal do Pulso Bipolar.



(WEI et al., 2009)

A célula de condutividade pode ser representado por um circuito de resistência em série e paralelo com capacitores causando assim efeitos capacitivos. Esta técnica tende a minimizar esses efeitos causados pela célula de condutividade e com isso, evitando problemas na medição (WEI et al., 2009).

Figura 8 – Modelo da Célula de Condutividade.

(WEI et al., 2009)

4 Medidores de Condutividade Elétrica

Analísadores de condutividade medem a resisténcia elétrica de amostras líquidas, geralmente aquosas contendo eletrólitos. As células e a instrumentação são projetadas para medir a resisténcia elétrica (ou sua reciprocidade, a condutância) em um elemento de volume do eletrólito e limitar as contribuições interfaciais eletrodo-solução para essa medição (LIPTÁK, 2003).

Uma variedade de sensores foi desenvolvida como é apresentada pela Lipták (2003), alguns usando eletrodos em contato com a amostra e outros não. Esses sensores podem ser combinados com a moderna microeletrônica, geralmente com programas de 'software' integrados, o que melhora a qualidade da medição da concentração de componentes iônicos em amostras de processo.

4.1 Tipos de Medidores

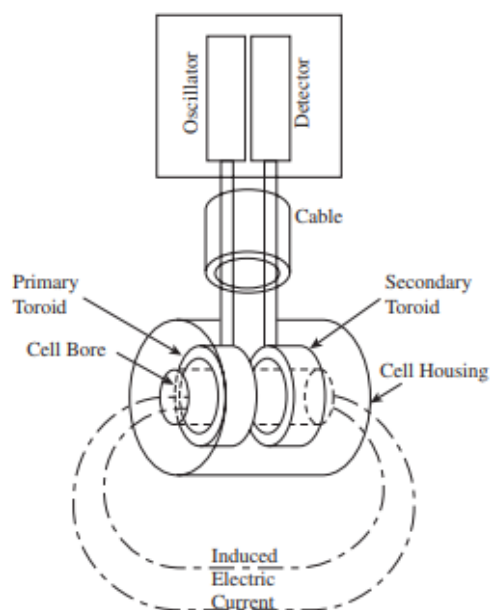
Serão apresentados características e o funcionamento de três categorias de aparelhos utilizados para a medição de condutividade elétrica de soluções existentes.

4.1.1 Sensores de Condutividade Indutivos

O sensor indutivo ou toroidal é composto por um núcleo de ferrite envolto por uma bobina, um circuito oscilador e, por fim, um circuito disparador em conjunto com um amplificador. O princípio de funcionamento do sensor indutivo se dá a partir de um campo eletromagnético variável que é gerado pelo oscilador em conjunto com a bobina na extremidade do dispositivo, apresentado na figura 9 (SILVEIRA; LOPES, 2016).

A sonda consiste em dois toroides encapsulados. Quando imersa no eletrólito, a solução forma um condutor compartilhado por ambos os toroides. Um toroide irradia um campo elétrico nesse circuito e o outro detecta uma pequena corrente elétrica induzida. Na prática, os dois toroides formam um transformador cujas bobinas estão interconectadas pela resisténcia do eletrólito (LIPTÁK, 2003).

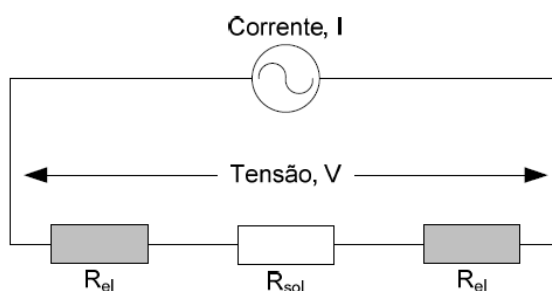
O campo irradiado é tipicamente 20 kHz, e a corrente induzida, que é proporcional à condutividade, é amplificada, retificada e exibida. Estas sondas são encapsuladas em materiais não condutores, resistentes à temperatura e quimicamente resistentes, tais como os polímeros de fluorocarbonetos (LIPTÁK, 2003). A principal vantagem deste tipo de sensores é o fato de não necessitarem de eletrodos evitando assim erros nas medições associados aos fenômenos da polarização e contaminação das superfícies dos eletrodos (RAMALHO, 2009).

Figura 9 – A célula de condutividade sem eletrodos.

(LIPTÁK, 2003)

4.1.2 Sensores de Condutividade de 2 Eletrodos

O sensor de condutividade de dois eletrodos funciona a partir da aplicação de uma corrente alternada entre os dois eletrodos. Com isso, é medida a tensão resultante entre eles. Contudo, calcula-se a condutividade da solução.

Figura 10 – Diagrama simplificado de uma célula de dois eletrodos.

(RAMALHO, 2009)

As células de dois eletrodos são mais adequadas para medição em soluções limpas para evitar erros causados pela formação de revestimentos e filmes nos eletrodos. Nestes tipos de sensores, é desejável minimizar a impedância interfacial dos eletrodos com a solução, porque o objetivo é medir a condutividade em massa do eletrólito (LIPTÁK, 2003).

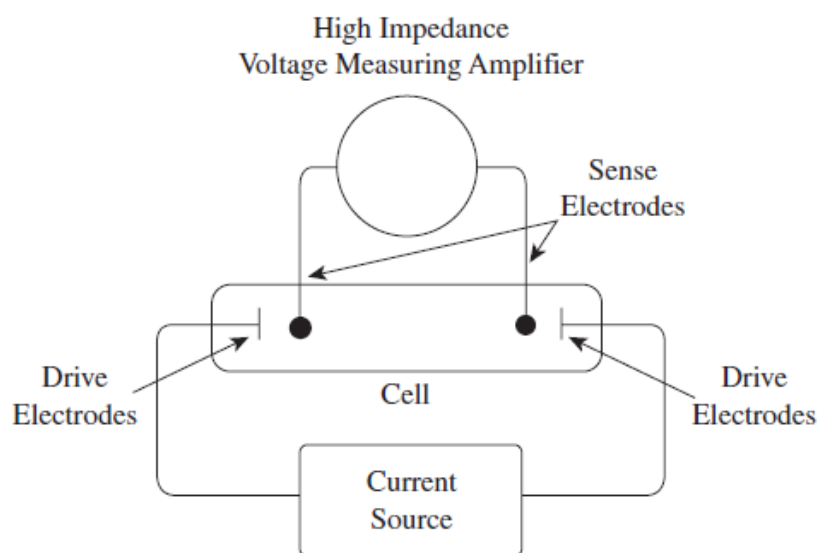
Além do mais, é necessário selecionar bem os materiais dos eletrodos para reduzir a polarização ou potenciais elétricos nas 'interfaces' eletrodo-solução (BRAUNSTEIN; ROBBING, 1971). Por princípio, os eletrodos devem ser feitos de platina e revestidos por uma platina preta, assim os efeitos de polarização e revestimento tornam-se menos significativos.

Há inúmeras formas da aplicação do sensor de condutividade de dois eletrodos. Dentre elas estão no monitoramento da água, aplicações de turbina a vapor e reatores nucleares.

4.1.3 Sensores de Condutividade de 4 Eletrodos

O funcionamento desse tipo de sensor é projetado para minimizar o efeito de campo, pelo fato que o volume é bem definido. A corrente é imposta através de dois eletrodos de acionamento e a queda de potencial através do eletrólito é detectada entre dois pontos da célula, usando dois eletrodos sensoriais. Os eletrodos de detecção são monitorados com um amplificador de alta tensão de impedância de entrada para minimizar a corrente e a polarização do eletrodo, apresentado na figura 11 (LIPTÁK, 2003).

Figura 11 – Circuito de Medição de Condutividade de Quatro Eletrodos.



(LIPTÁK, 2003)

Erros devido à polarização e o estado das superfícies do eletrodo são eliminados. Dessa maneira, a polarização nos eletrodos de acionamento não afeta na medição, desde que a tensão do inversor seja capaz de manter a corrente de controle através da célula (KISSINGER; HEINEMAN, 1996). Com o bloqueio do canal do eletrodo essa

tensão pode aumentar e esse fator pode ser usado como ferramenta de sinalização para o usuário indicando a necessidade da limpeza.

A desvantagem principal desse tipo de sensor é seu formato geométrico. Quatro eletrodos não são adequados para configurações de uma pesquisa de monitoramento de campo. É requerido um fluxo contínuo que permite uma distribuição linear em suas células para que as medições sejam precisas (LIPTÁK, 2003).

Principais aplicações abrangem em medições de condutividade de metais alcalinos, ácidos e sais onde frequentemente em suas amostras contêm sólidos, óleos ou outros materiais que formam o revestimento dos eletrodos. Esses materiais são encontrados facilmente em processos químicos em mineração e industriais (F. P. ANDERSON et al., 1969).

4.2 Medidores e Novas Tecnologias

Os medidores de condutividade modernos, com computadores de bordo ou com microcontroladores para o processamento de dados, fornecem recursos básicos como correção de temperatura para valores de referência e exibição digital de dados de concentração a partir de valores facilitados (LIPTÁK, 2003).

Os elementos para processamento e compensação de dado como temperatura e concentração para ácidos, bases ou sais comuns são frequentemente embutidos no 'software' do instrumento. Dados para materiais menos comuns podem ser carregados pelo usuário final. (LIPTÁK, 2003)

Com a utilização de microcontroladores para o processamento de dados é possível a aplicação de técnicas baseadas em 'software' para a redução de erros nas medições. Pode-se citar como exemplo a técnica do pulso bipolar. Este método melhora a precisão das medidas, é simples e diminuiu a quantidade de componentes eletrônicos utilizados na construção do medidor.

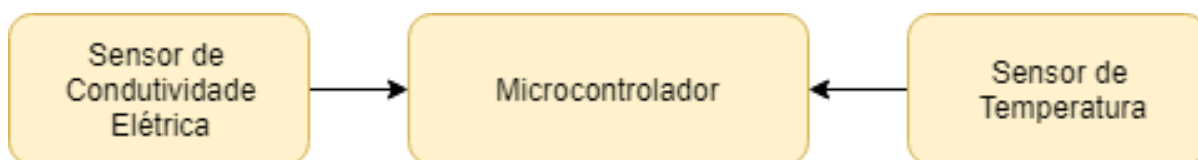
5 Metodologia

De forma detalhada, serão apresentadas todas as etapas, metodologias e componentes utilizados na execução do projeto. A montagem experimental do protótipo foi executada em laboratório apropriado.

5.1 Visão Geral

A construção se deu em três etapas. A primeira foi o projeto do sensor de condutividade elétrica, seleciona o material e as medidas que foram usadas nos eletrodos. Segunda etapa foi de escolha da técnica de medição e por fim, fez-se a escolha de um sensor de temperatura comercial e de fácil acesso.

Figura 12 – Visão Geral.



5.2 Componentes e Características

De modo geral, foi utilizado os seguintes componentes para a produção do protótipo:

- Microcontrolador Arduino Uno;
- Bateria para Alimentação do Microcontrolador;
- Sensor de Temperatura DS18B20;
- Módulo Real Time Clock DS3231;
- Módulo Cartão Micro SD;
- Eletrodos Projetados.

5.2.1 Microcontrolador Arduino Uno

Arduino é uma plataforma aberta de baixo custo para prototipagem eletrônica. O Arduino Uno é uma placa microcontroladora baseada no ATmega328P com suporte de entrada/saída embutidos e uma linguagem de programação padrão com origem em 'Wiring', baseado essencialmente nas linguagens C e C++. Esta placa é mais utilizada e documentada de todas a família Arduino (ARDUINO, 2018).

Figura 13 – Arduino UNO.

(ARDUINO, 2018)

Possui 14 pinos de entrada / saída digital (dos quais 6 podem ser usados como saídas PWM), 6 entradas analógicas, um cristal de quartzo de 16 MHz, um conector de energia, um conector ICSP, um botão de reinicialização, memória 'flash' de 32 kB, EEPROM de 1 kB e conector USB, utilizado para a programação do microprocessador, comunicação serial e alimentação (ARDUINO, 2018). Seu preço é atrativo, permitindo que seja aplicado a qualquer tipo de projeto, seja ele de pequeno ou grande porte.

5.2.2 Bateria

Foram usados baterias recarregáveis de lítio de alta capacidade com o código 18650, com a voltagem nominal de 3,7V e capacidade de 4200mAh.

5.2.3 Sensor de Temperatura DS18B20

Por meio deste sensor de temperatura impermeável se permitiu medições em ambientes úmidos e molhados. Ele é suficientemente preciso ($\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ exatidão) e proporcionou leituras de temperatura de até 12-bits, podendo ser configurável. O sensor possui 3 fios para a ligação ao Arduino e é alimentado com 5 'volts' (THOMSEN, 2015c).

Figura 14 – Sensor de Temperatura.

(THOMSEN, 2015c)

5.2.4 Módulo *Real Time Clock* DS3231

Este módulo foi capaz de fornecer informações no formato de data (dia, mês e/ou ano), em minutos e/ou segundos. Em caso de falha de energia é automaticamente acionada a bateria que acompanha o módulo para evitar perda de dados (THOMSEN, 2015a).

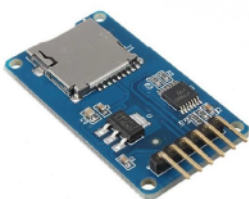
Figura 15 – Módulo Real Time Clock.

(THOMSEN,2015a)

Este dispositivo contém um cristal oscilador embutido que torna o módulo muito mais preciso em relação aos modelos anteriores. Sua comunicação foi feita pela 'interface' I2C (Inter-Integrated Circuit), possui alimentação de 3,3 a 5 'volts' e trabalha com nível de sinal de 5V, podendo ser ligado diretamente ao microcontrolador (THOMSEN, 2015a).

5.2.5 Módulo de Leitura e Escrita de Cartão de Memória

Com este módulo foi possível gravar os dados referentes aos valores de condutividade, temperatura e também o momento da coleta, em um cartão micro SD .O módulo aceita cartões formatados em FAT16 ou FAT32, utiliza a comunicação via '*interface*' SPI por meio dos pinos MOSI, SCK, MISO e CS e possui alimentação de 5 '*volts*' (THOMSEN, 2015b).

Figura 16 – Módulo de Leitura e Escrita de Cartão de Memória.

(THOMSEN, 2015b)

5.2.6 Eletrodos

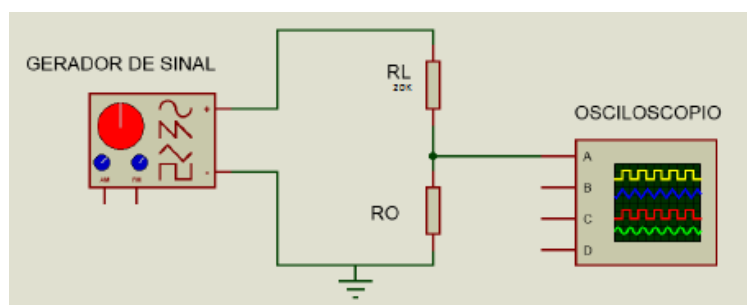
Os eletrodos foram feitos com alumínio e de forma retangular. Suas características principais estão na tabela 2. O dimensionamento do eletrodo foi baseado na literatura, visando dimensionar da melhor forma possível.

Tabela 2 – Tabela com as medidas dos eletrodos.

Medidas	
Largura	1 cm
Comprimento	1 cm
Área	1 cm ²
Distância	0,9 cm

5.3 Procedimentos

Inicialmente, projetou-se um circuito divisor de tensão. Este foi criado a partir da necessidade da leitura da diferença de tensão em cima do eletrodo que se utilizou duas resistências: resistência de saída (RO) e resistência em série (RL). A resistência de saída é o eletrodo, a resistência em série é o resistor de composição de carbono.

Figura 17 – Circuito Divisor de Tensão Ilustrativo.

Com base na diferença de tensão medida através da resistência de saída foi possível obter o valor da sua resistência equivalente. Em seguida, a partir das fórmulas 2.1 a 2.4, encontrou-se o valor da condutância da solução usada como amostra. Na resistência equivalente, a RL permaneceu fixa com o valor de 20K ohms, enquanto a RO variou conforme diferentes amostras utilizadas. Contudo, houve também a necessidade da utilização de um capacitor poliéster para filtrar o sinal de saída.

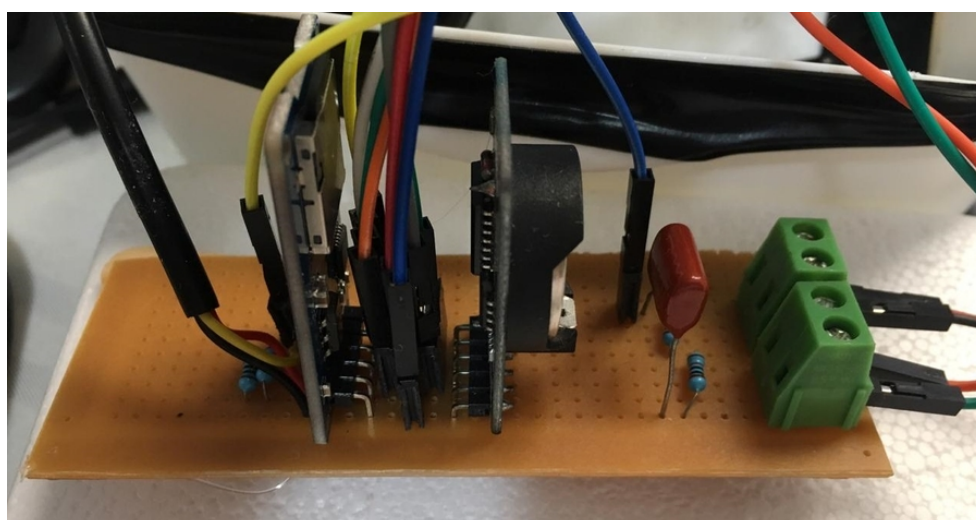
Neste projeto utilizou-se o sensor de dois eletrodos, dado que é simples e mais adequado para o tipo de problemática exposta. As medidas usadas em seu dimensionamento foram obtidas através de vários testes para identificar as melhores proporções possíveis onde os valores podem ser encontrados na tabela 2. Para estes cálculos, foram utilizados as fórmulas 2.4 e 2.5.

Por ser uma técnica que não necessita de equipamento físico mais robusto e substitui a obrigação de implementação do oscilador que é feito através de amplificadores operacionais, utilizou-se a técnica de medição conhecida como Pulso Bipolar. Está é um técnica simples, funcionando basicamente com o poder do processamento do Arduino, mas bastante sofisticada, pois evita problemas como a de polarização.

Com todos os parâmetros, componentes e técnicas determinados e devidamente calculados, iniciou-se a montagem do protótipo de acordo com o roteiro a seguir:

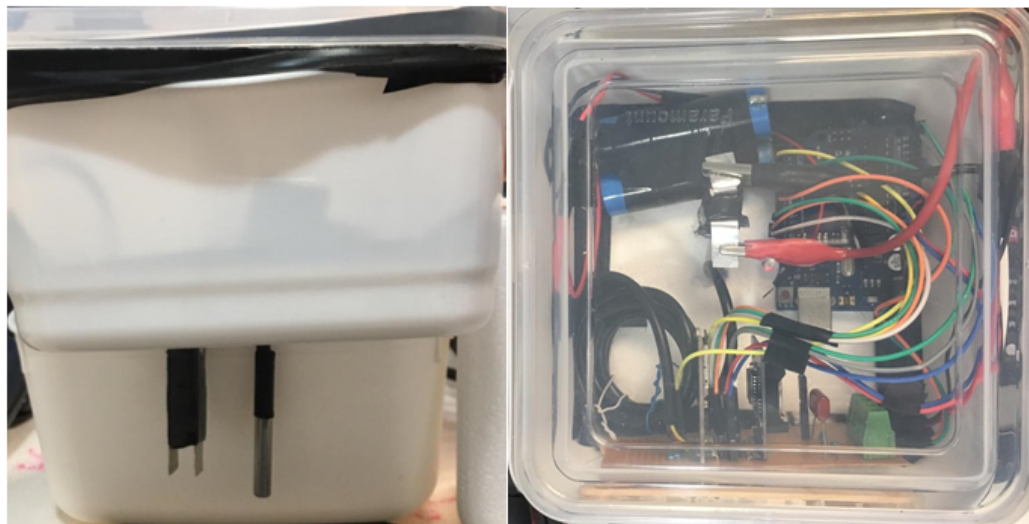
- 1) Acoplamento do eletrodo na estrutura do dispositivo.
- 2) Junção do módulo de leitura e escrita de cartão de memória ao equipamento.
- 3) Ligação do módulo real time clock DS3231.
- 4) Ligação do sensor de temperatura.

Figura 18 – Circuito montado.



Todos os passos citados foram seguidos de testes relativos ao seu funcionamento como dispositivos independentes e como protótipo unificado.

Figura 19 – Visão lateral e panorâmica do protótipo.



Após concluída a montagem, foi feita a adaptação da técnica de medição onde pulso é representado pela ativação e desativação de duas portas digitais do Arduino. O ciclo positivo é feito quando uma das portas é ligada na tensão máxima e enquanto a outra permanece desligada. O ciclo negativo é dada com a inversão de ativação das portas. Logo após os pulsos, as duas portas digitais são desligadas. Assim, o funcionamento do protótipo se dá com a repetição de 60 vezes do pulso positivo e negativo com intuito de obter a média da diferença de tensão lida a cada repetição para a melhor estabilidade do valor medido.

Por fim, o valor da condutividade calculado a partir da tensão medida é gravado no cartão micro SD juntamente com os valores de temperatura da solução, data e hora das medições que ocorre a cada sessenta segundos.

6 Resultados e Discussão

6.1 Descrição

Para os testes iniciais envolvendo o osciloscópio, o gerador de sinal e o circuito de divisor de tensão, mostrado na figura 17, foi analisado que ao variar a frequência do sinal de entrada, os valores de saída também variam. Isto foi verificado em todas as amostras.

Figura 20 – Variações dos parâmetros da Água Doce.

Parâmetros		Frequências (Khz)					
		0,1	0,5	1	10	50	100
Tensão (pico a pico)	Vi (V)	15	15	15	15	15	15
	Vo (V)	9,40	7,04	6,40	5,76	5,52	5,52
Calculada	Condutância (uS/cm)	112,50	226,13	262,75	320,83	343,47	343,47

Através da figura 22 é possível observar que a variação da condutividade é relativamente grande entre as soluções. A água do mar é utilizada como referência base dessas soluções. Com a obtenção desses resultados surgiu o desafio de buscar o melhor método de medição de condutividade para ser aplicado.

Figura 21 – Tabela com valores de condutividade em destaque que se aproximam com o medido.

Parâmetros		Frequências (Khz)			
Condutância Calculada (uS/cm)	Amostras	0,15	1	10	100
	Água Doce	133,33	262,75	320,83	343,47
	Água Salgada - 1%	212,08	682,35	1.395,75	1.544,19
	Água Salgada - 10%	300,00	1.139,29	6.265,52	11.518,80
	Água Salgada - 50%	351,47	1.330,61	9.668,42	29.800,00

Figura 22 – Valores de condutividade utilizado como referência de saída.

Amostras	Condutância Medida (uS/cm)
Água Doce	136,00
Água Salgada - 1%	686,00
Água Salgada - 10%	6.690,00
Água Salgada - 50%	30.400,00

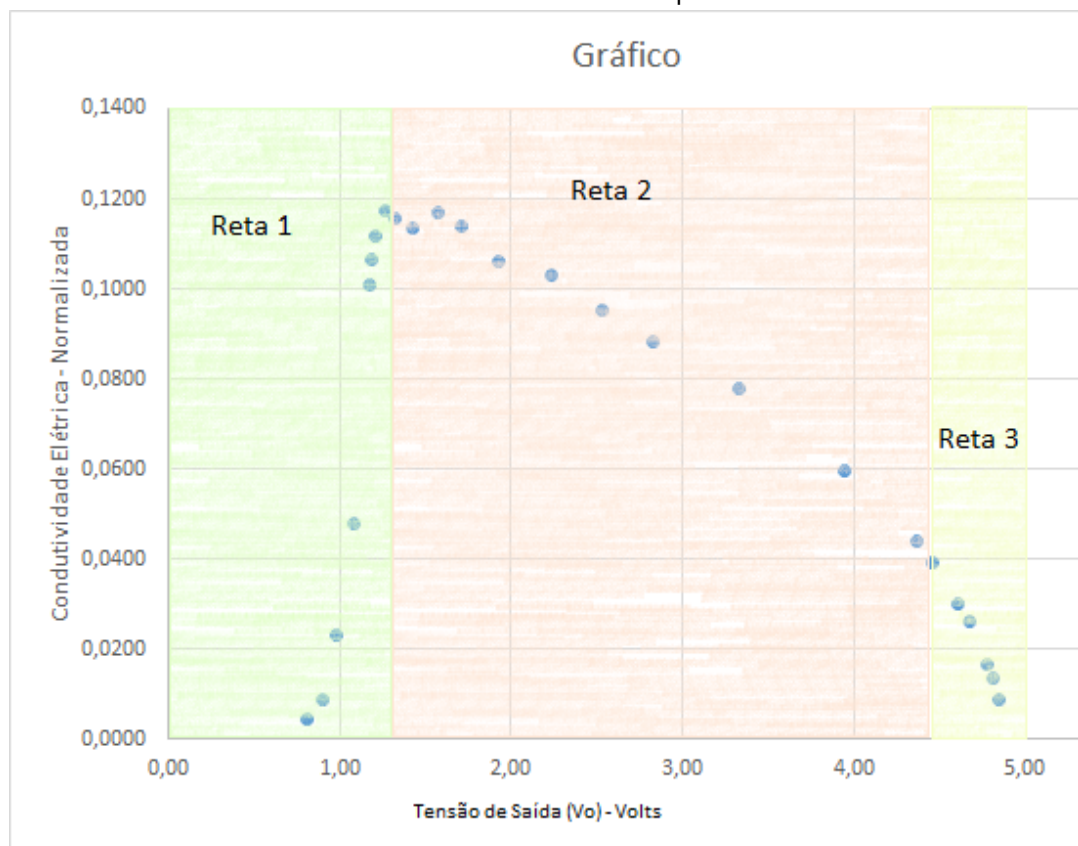
Utilizando a técnica do pulso bipolar e usando a cada pulso (positivo e negativo) de 50 microssegundos, foi perceptível uma melhora na medição da variação da condutividade, o valor medido próximo ao valor real. Pela figura 23, a melhora só acontece sendo na faixa de valores selecionados que compreende entre aproximadamente 270 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 650 $\mu\text{S}/\text{cm}$. O erro nesta faixa de valores selecionada atinge o valor de 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ou seja, um valor que poder ser tolerado. Contudo, os valores encontrados pelo protótipo se assemelha a faixa de valores encontrados quando foi utilizado o gerador de sinal.

Figura 23 – Valores de condutividade medida usando o Pulso Bipolar.

Soluções				
Resistor (Ω)	Resistência de Saída (Ro)	Tensão de Saída (Vo)	Condutividade Medida	Condutividade Real
	Ohms	Volts	$\mu\text{S}/\text{cm}$	$\mu\text{S}/\text{cm}$
20000	1.616.666,67	4,85	5,6	64,0
	962.000,00	4,81	9,4	68,0
	735.384,62	4,78	12,2	74,0
	389.166,67	4,67	23,1	88,0
	307.333,33	4,61	29,3	98,0
	198.222,22	4,46	45,4	116,0
	161.851,85	4,37	55,6	126,0
	81.237,11	3,94	110,8	186,0
	42.151,90	3,33	213,5	274,0
	27.211,54	2,83	330,7	374,0
	21.260,50	2,53	423,3	444,0
	16.779,03	2,24	536,4	520,0
	12.953,02	1,93	694,8	654,0
	10.687,50	1,71	842,1	740,0
	9.401,20	1,57	957,3	818,0
	8.218,39	1,43	1.095,1	964,0
	7.353,76	1,32	1.223,9	1060,0
	6.978,02	1,27	1.289,8	1100,0
	6.540,54	1,21	1.376,0	1230,0
	6.397,85	1,19	1.406,7	1318,0
	6.256,68	1,17	1.438,5	1428,0
	5.639,69	1,08	1.595,8	3340,0
	5.244,22	1,02	1.716,2	7840,0
	4.488,78	0,90	2.005,0	22600,0
	3.951,22	0,81	2.277,8	51900,0

Todavia, não foi suficiente para alcançar uma faixa de valores de medição da variação da condutividade específica quanto esperada, o seja, que medisse valores entre 60 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e 51 900 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Então, foi necessário realizar a normalização dos dados estudados, de modo a encontrar uma forma simplificada para o processamento de dados com intuito de diminuição de erros.

Gráfico 1 – Gráfico de Dispersão.



A partir do gráfico de dispersão 1, notou-se que era possível dividir sua curva em três aproximações de retas, de modo que a equação das retas geradas por um 'software' de apoio. Quando incorporadas ao código do microcontrolador, estabeleceram a diminuição dos erros encontrados.

Gráfico 2 – Gráfico de Dispersão - Aproximação da Reta 1.

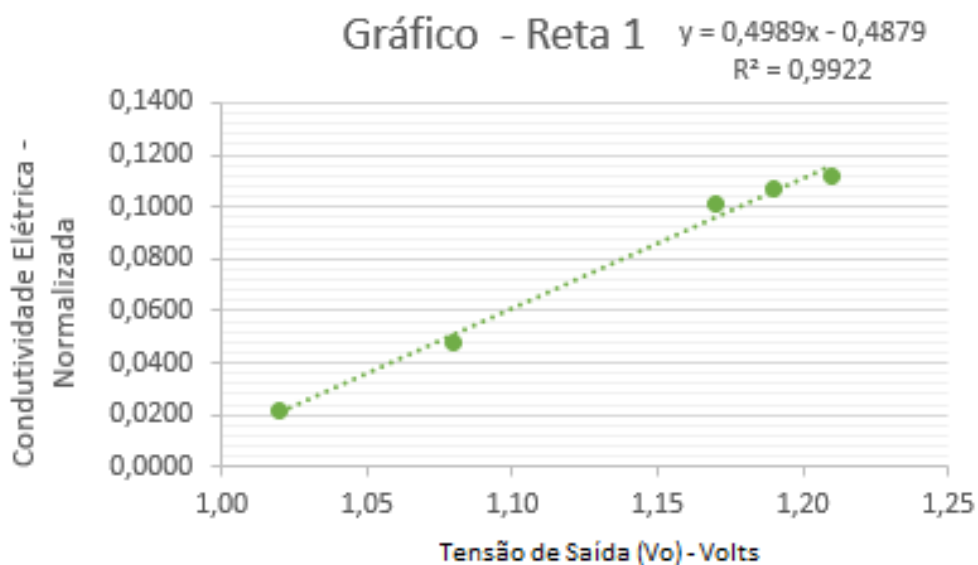


Gráfico 3 – Gráfico de Dispersão - Aproximação da Reta 2.

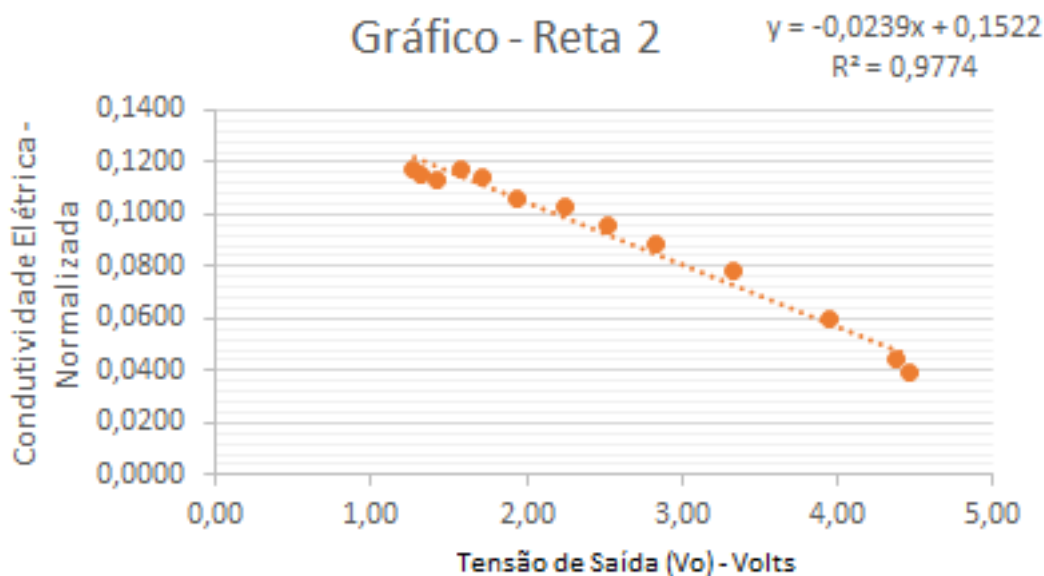
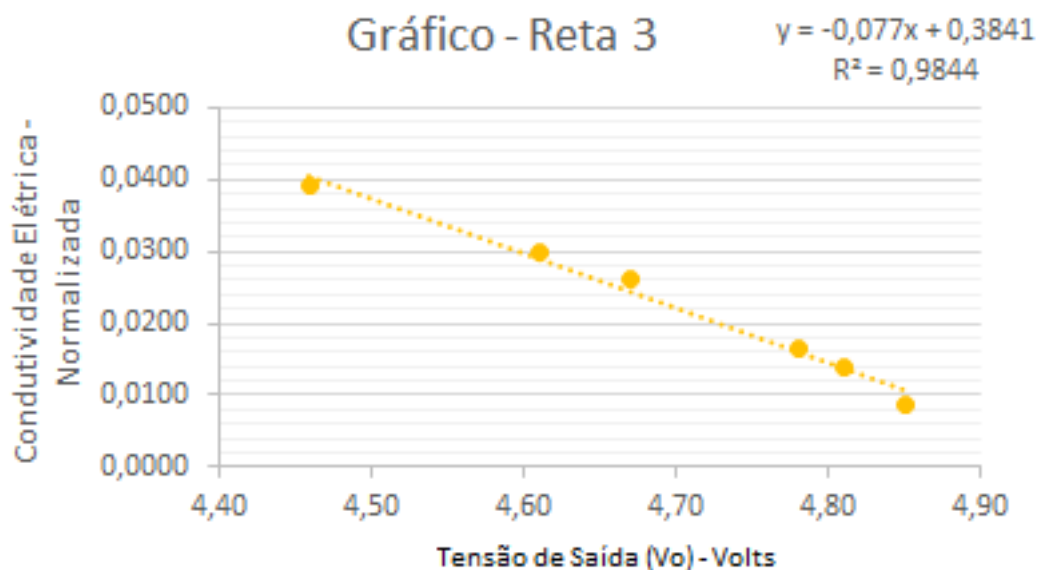


Gráfico 4 – Gráfico de Dispersão - Aproximação da Reta 3.



Para calibração das medições do condutivímetro, com o objetivo de descobrir quais retas seriam utilizadas, e respectivas faixas de valores. Foi executado uma comparação entre o condutivímetro comercial e o protótipo ocasionando em valores normalizados que foram utilizados como base para o estudo, como mostrado na figura 24. A condutividade calculada é o valor medido pelo dispositivo e o erro é calculado pela diferença da condutividade real, medida pelo condutivímetro comercial, e calculada.

Figura 24 – Comparação de valores medidos, reais e calculados de condutividade elétrica.

Resistor (Ω)	Soluções						
	Resistência de Saída (Ro)	Tensão de Saída (Vo)	Condutividade Medida	Condutividade Real	Condutividade	Condutividade Calculada	Erro
	Ohms	Volts	$\mu\text{S/cm}$	$\mu\text{S/cm}$	Normalizada	$\mu\text{S/cm}$	$\mu\text{S/cm}$
20000	1.616.666,67	4,85	5,6	64,0	0,0870	52,3	11,7
	962.000,00	4,81	9,4	68,0	0,1376	68,1	-0,1
	735.384,62	4,78	12,2	74,0	0,1654	76,3	-2,3
	389.166,67	4,67	23,1	88,0	0,2628	94,4	-6,4
	307.333,33	4,61	29,3	98,0	0,2988	100,5	-2,5
	198.222,22	4,46	45,4	116,0	0,3914	111,6	4,4
	161.851,85	4,37	55,6	126,0	0,4413	116,8	9,2
	81.237,11	3,94	110,8	186,0	0,5956	189,4	-3,4
	42.151,90	3,33	213,5	274,0	0,7792	294,2	-20,2
	27.211,54	2,83	330,7	374,0	0,8843	393,1	-19,1
	21.260,50	2,53	423,3	444,0	0,9534	464,9	-20,9
	16.779,03	2,24	536,4	520,0	1,0315	548,7	-28,7
	12.953,02	1,93	694,8	654,0	1,0624	662,3	-8,3
	10.687,50	1,71	842,1	740,0	1,1380	765,6	-25,6
	9.401,20	1,57	957,3	818,0	1,1703	845,4	-27,4
	8.218,39	1,43	1.095,1	964,0	1,1360	940,3	23,7
	7.353,76	1,32	1.223,9	1060,0	1,1546	1028,4	31,6
	6.978,02	1,27	1.289,8	1100,0	1,1725	1073,3	26,7
	6.540,54	1,21	1.376,0	1230,0	1,1187	1188,6	41,4
	6.397,85	1,19	1.406,7	1318,0	1,0673	1329,7	-11,7
	6.256,68	1,17	1.438,5	1428,0	1,0073	1501,3	-73,3
	5.639,69	1,08	1.595,8	3340,0	0,4778	3134,5	205,5
	5.244,22	1,02	1.716,2	7840,0	0,2189	8180,8	-340,8
	4.488,78	0,90	2.005,0	22600,0	0,0887	-	-
	3.951,22	0,81	2.277,8	51900,0	0,0439	-	-

Na figura 24 os dois últimos valores apresentados não são utilizados no gráfico 4 visto que os valores da condutividade calculada são menores. Para aumentar a faixa de leitura, é necessária uma quantidade maior de amostras para a calibração, e com isso a criação de mais aproximações de retas para utilização no programa.

Por fim, vale ressaltar que o tempo de duração de duas baterias que foram acopladas ao projeto são de cerca de 7 horas.

6.2 Custo do Projeto

Para realização deste projeto, foram usados os seguintes componentes, com seus respectivos custos/preços na tabela 3.

Tabela 3 – Custos dos componentes do projeto

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Arduino Uno R3	1	45,00	45,00

Descrição	Quantidade	Valor Unitário (R\$)	Total (R\$)
Resistores 10 K ohms	2	0,30	0,60
Capacitor Cerâmico 100 nF	1	0,94	0,94
Sensor de Temperatura	1	14,90	14,90
Modulo Real Time Clock	1	19,90	19,90
Modulo de Cartão de Memória	1	7,11	7,11
Cartão Micro SD 8 GB	1	21,90	21,90
Fios	12	0,42	12,00
Placa Fenolite	1	4,00	4,00
Total:			R\$ 126,35

7 Conclusão

Os dados obtidos possibilitaram concluir que a estrutura e metodologia utilizada para avaliar a qualidade da água foi satisfatória o que ocasionou a gravação dos valores medidos no cartão de memória, de acordo com o objetivo inicial. Ainda que existam erros nas medições, possivelmente ocasionado pela imprecisão dos materiais utilizado na estrutura, estes são consideravelmente pequenos e contornáveis.

Para possíveis testes e implementações futuras deste projeto, deve a estrutura do protótipo precisa ser melhorada para testes de campo, isto é, com o dispositivo submerso.

A fabricação deste protótipo é viável dado que o custo benefício de utilizar este projeto é satisfatório e o monitoramento do mesmo ocorre de maneira simples auxiliando no estudo de salinidade nas águas.

Referências

- ANEEL. **Superintendência de Estudos e Informações Hidrológicas**. 1998. Disponível em: http://ambientes.ambientebrasil.com.br/agua/recursos_hidricos/hidrografia_do_brasil.html. Acesso em: 04/11/2018.
- ARDUINO. **ARDUINO UNO REV3**. 2018. Disponível em: <https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>. Acesso em: 28/11/2018.
- BRAUNSTEIN, J.; ROBBING, G. D. Electrolytic conductance measurements and capacitive balance. **J. Chem. Educ.**, v. 1, n. 48, p. 52 – 59, January 1971.
- F. P. ANDERSON et al. Measurement of electrolyte conductance with a four-electrode alternating current potentiometer. **Journal of Physics E: Scientific Instruments**, v. 2, n. 6, p. 457 – 552, Jun 1969.
- FRADEN, J. **Handbook of Modern Sensors Physics, Designs, and Applications**. 3. ed. Springer, 2010. ISBN 978-1-4419-6465-6. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1017/S0263574705211797>. Acesso em: 10/10/2018.
- FUJIWARA, C. H. **Desenvolvimento de um sensor de condutividade para a determinação do tempo de resposta de um sistema de pulverização agrícola com injeção direta**. 2015. 74 p. Monografia (Engenharia Elétrica) — Universidade de São Paulo. Disponível em: <http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-14032016-154553/>. Acesso em: 11/11/2018.
- JOHNSON, D. E.; ENKE, C. Bipolar Pulse Technique for Fast Conductance Measurements. **Analytic Chemistry**, v. 42, n. 3, p. 329 – 335, Março 1970. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/ac60285a015>. Acesso em: 28/11/2018.
- KISSINGER, P.; HEINEMAN, W. R. Conductivity and Conductometry. In: KISSINGER, P.; HEINEMAN, W. R. (ed.). **Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry**. 2. ed. Boca Raton: CRC Press, 1996. cap. 8, p. 237 – 265.
- KUBO, R. Statistical-Mechanical Theory of Irreversible Processes. I. General Theory and Simple Applications to Magnetic and Conduction Problems. **Journal of the Physical Society of Japan**, v. 12, n. 6, p. 570 – 586, June 1957. Disponível em: <https://doi.org/10.1143/JPSJ.12.570>. Acesso em: 10/10/2018.
- LIPTÁK, B. G. **INSTRUMENT ENGINEERS' HANDBOOK: Process Measurement and Analysis**. 4. ed. CRC Press, 2003. v. 1. ISBN 0-8493-1083-0. Disponível em: <http://www.nivelco.com.ua/documents/technical%20publications%20docs/Instrument-Engineers-Handbook-Fourth-Edition-Volume-One-Process-Measurement-and-Analysis.pdf>. Acesso em: 28/10/2018.
- RAMALHO, S. M. C. **Sensor de Condutividade com Condicionamento de Sinal**. 2009. Dissertação (Engenharia Electrotécnica e de Computadores) — Universidade Técnica de Lisboa. Disponível em: <https://fenix.tecnico.ulisboa.pt/downloadFile/395139408909/DissertacaoSensorCondutividadeVersaoFinal.pdf>. Acesso em: 20/09/2018.

SANTOS, N. G. O.; LOZER, D. R.; COTTA, A. J. B. Monitoramento da intrusão salina no Rio São Mateus-ES. In: RESUMO, 2017, São Mateus - ES. **VI Encontro Capixaba de Química**. São Mateus - ES, 2017. p. 1 – 1.

SILVEIRA, C. B.; LOPES, G. C. **Sensor Indutivo : O que é e como funciona**. 2016. Disponível em: https://www.citisystems.com.br/sensor-indutivo/#disqus_thread. Acesso em: 15/10/2018.

SOLOMAN, S. **SENSORS HANDBOOK**. 2. ed. The McGraw-Hill Companies, 2010. ISBN 978-0-07-160571-7. Disponível em: http://research.iaun.ac.ir/pd/abbas.chatraei/pdfs/UploadFile_1903.pdf. Acesso em: 28/10/2018.

THOMSEN, A. **Como fazer um Datalogger com Arduino**. 2015a. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/datalogger-com-arduino-cartao-sd/>. Acesso em: 01/12/2018.

THOMSEN, A. **Como gravar dados no Cartão SD com Arduino**. 2015b. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/cartao-sd-com-arduino/>. Acesso em: 01/12/2018.

THOMSEN, A. **Medindo temperatura debaixo d'água com DS18B20**. 2015c. Disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/sensor-de-temperatura-ds18b20-arduino/>. Acesso em: 01/12/2018.

WEI, Y. et al. Design of Intelligent Conductivity Meter Based on MSP430F149. **Computer and Computing Technologies in Agriculture III**, CCTA 2009, v. 3, n. 17, p. 240 – 247, Janeiro 2009. ISSN 978-3-642-12220-0. Disponível em: https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-12220-0_35#citeas. Acesso em: 29/11/2018.