

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
PIAUÍ CAMPUS PARNAÍBA

COORDENAÇÃO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

CURSO DE LICENCIATURA EM FÍSICA

HEULLY FERNANDES DE LIMA

KIT DIDÁTICO PARA O ENSINO DE CAPACITÂNCIA NO ENSINO MÉDIO

Parnaíba-PI

2018

HEULLY FERNANDES DE LIMA

KIT DIDÁTICO PARA O ENSINO DE CAPACITÂNCIA NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação de Física do Campus Parnaíba do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí como requisito parcial para a obtenção do grau de Licenciado em Física.

Orientador: Prof. Msc. Jeová Calisto dos Santos

Coorientador: Prof. Esp. Wilson Rosas de Vasconcelos Neto

Parnaíba-PI

2018

FICHA CATALOGRÁFICA

Sistema de Bibliotecas

Gerada automaticamente com dados fornecidos pelo(a) autor(a)

L732k Lima, Heully Fernandes de
Kit didático para o ensino de capacitância no ensino médio / Heully Fernandes de Lima - 2018.
76 p. : il. color.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí, Campus Parnaíba, Licenciatura em Física, 2018.

Orientador : Prof Me. Jeová Calisto dos Santos.

Coorientador : Prof. Wilson Rosas de Vasconcelos Neto.

1. Experimentos didáticos. 2. Capacitância. 3. Dielétrico. 4. Plataforma Arduino.
I. Título.

CDD 530

HEULLY FERNANDES DE LIMA

KIT DIDÁTICO PARA O ENSINO DE CAPACITÂNCIA NO ENSINO MÉDIO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
à Coordenação de Física do Campus Parnaíba
do Instituto Federal de Educação, Ciência e
Tecnologia do Piauí como requisito parcial
para a obtenção do grau de Licenciado em
Física.

Trabalho aprovado. Parnaíba-PI, 19 de dezembro de 2018:

Prof. Msc. Jeová Calisto dos Santos
Orientador

**Prof. Esp. Wilson Rosas de
Vasconcelos Neto**
Coorientador

**Prof. Msc. Lucas Izidio de Sousa
Sampaio**
Convidado 1

Parnaíba-PI
2018

*Este trabalho é dedicado à minha família e amigos, que sempre estiveram ao meu lado
nessa longa jornada.*

*Em especial aos meus professores: Jeová Calisto, Wilson Rosas, Iriane Rosas, Marcos
Matos, Lucas Izidio, Bruno Sombra, Itamar Vieira, Lucrécia Gomes, Janete Cesar,
Vilma Dias, Roselane Duarte, Renata Cunha, Francisca Sampaio, Simone Santos,
Benedito Gledson, Bruno Coole, Antônio Nascimento, Raimundo Pio, Diego Prudêncio,
Wesllay Vieira, Tarcísio Carneiro, Franklin Soares, Kristian Pessoa, etc.*

Aos meus amigos de trabalho pela ajuda e compreensão mútuas.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus e a nosso senhor Jesus Cristo, pelo dom da vida e perseverança na consecução de meus objetivos.

Aos professores: Jeová Calisto dos Santos e Wilson Rosas de Vasconcelos Neto pelas orientações, ensinamentos e disposição em orientar-me neste trabalho.

A minha família, especialmente a minha vó Maria da Penha da Conceição, a meus tios Maria da Conceição e José Raimundo, à minha mãe Iraci Maria Lima e seu esposo Alberto Alperes, aos meus irmãos Keully Lima e Adriana Maria, aos meus primos e irmãos de coração Hellem Symara, Guilherme Henrique, Herus Felipe e Micaele Silva. A todos os meus professores que contribuíram para minha formação, desde os anos iniciais até este momento. Recordo de todos e mantenho por todos um carinho mais que especial. Aos meus filhos Lohayna Maria da Silva Lima e Francisco Lohann da Silva Lima, pelos quais me tornei um ser humano melhor.

A todos os meus amigos, sem exceção. Em especial a Edinaldo Cardoso, Erisvaldo Cardoso, Erivelton Pereira, Luiz Antonio, Nonato Sousa, etc.

Aos meus amigos de curso Jefferson Whercullis, Liziane Amorim, Vitória Dutra, Gabriel Correia, Sandro Emerson, João Batista, Airton Dias, Camila Costa, Robson Raigonsley, Gabriela de Assis, Thaynara Brena, Elienário Duarte, Stefânia Ferreira, Rafael Magalhães, Bruna Reis, Alberto Senna, Matheus Costa, etc. Obrigado a todos pelo companheirismo e ajuda nos momentos difíceis.

In memoriam à minha bisavó Maria Raimunda da Conceição, à minha prima Magda Lima, ao meu avô José Arcelino e a meus tios Francisco Antonio, Ana Luiza, Raimundo Arcelino e Agenor Lima.

Obrigado a todos!

*“Diga-me eu esquecerei,
ensina-me e eu poderei lembrar,
envolva-me e eu aprenderei”*
Benjamin Franklin

Resumo

Neste trabalho apresentamos a concepção e estruturação de um *kit* didático que servirá de apoio ao docente no ensino de Física, visando melhorar a exposição do conteúdo relacionado a capacitância no ensino médio, propiciando ao discente uma visão prática dos conteúdos teóricos, facilitando a aprendizagem e tornando-a mais significativa. Ao utilizar o *kit*, pretende-se por parte dos envolvidos uma compreensão mais profunda de como a capacitância se relaciona com outras grandezas, como: tensão, carga, distância entre as placas, área das placas, etc. Esse *kit* didático é em quase sua totalidade, confeccionado com materiais de baixo custo, acessíveis ou disponíveis em sucata de material eletrônico, visando propiciar ao docente e ao discente a construção do conhecimento aliado à valorização da ação investigativa. Poderá vir a ser utilizado pelo professor para instigar e mostrar na prática como o capacitor acumula cargas e que esse acúmulo de cargas está diretamente relacionado com os aspectos construtivos, geométricos, tipo de material utilizado como dielétrico entre as armaduras do capacitor, etc. Também servirá como apoio para auxiliar no conteúdo de associações de capacitores em série e paralelo. Traz incluso, uma proposta de construção de um protótipo capacímetro utilizando a plataforma Arduino, que é considerada atualmente um ótimo recurso educacional e de fácil assimilação, que não requer dos envolvidos, conhecimentos profundos de eletrônica digital e nem de programação.

Palavras-chave: Experimentos didáticos. Capacitância. Dielétrico. Plataforma Arduino.

Abstract

In this work we present the design and structuring of a didactic kit that will support the teacher in physics teaching, aiming to improve the exposure of content related to capacitance in high school, giving the student a practical view of theoretical contents, facilitating learning and making -the most significant. When using the kit, it is intended for those involved a deeper understanding of how the capacitance relates to other quantities, such as: voltage, charge, distance between plates, plate area, etc. This didactic kit is almost entirely made of low-cost materials, accessible or available in scrap electronic material, aiming to provide the teacher and the student with the construction of knowledge allied to the valorization of the investigative action. It may be used by the teacher to instigate and show in practice how the capacitor accumulates charges and that this accumulation of charges is directly related to the constructive, geometric, type of material used as dielectric between the capacitor armature, etc. It will also serve as support to assist in the content of series and parallel capacitor associations. It also includes a proposal to build a prototype capacimeter using the Arduino platform, which is currently considered a great educational resource and easy to assimilate, which does not require those involved, deep knowledge of digital electronics or programming.

Keywords: Didactic experiments. Capacitance. Dielectric. Arduino platform.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Simbologia de capacitores fixos não polarizados. Fonte: Autoria própria.	22
Figura 2 – Simbologia de capacitores fixos polarizados. Fonte: Autoria própria. . .	22
Figura 3 – Simbologia de capacitores variáveis. Fonte: Autoria própria.	23
Figura 4 – Imagem ilustrativa de vários tipos de capacitores comerciais. Disponível em:< www.eletronicaparatodos.com >. Acesso em: 18 nov. 2018.	23
Figura 5 – Representação esquemática da superfície gaussiana e da trajetória de integração em um capacitor de placas paralelas. Fonte: Autoria própria.	25
Figura 6 – Capacitor de placas paralelas. Fonte: Autoria própria.	26
Figura 7 – Vista superior contendo a superfície gaussiana de um capacitor cilíndrico. Fonte: Autoria própria.	28
Figura 8 – Representação esquemática de um capacitor esférico. Fonte: Autoria própria.	30
Figura 9 – Diagrama de uma associação em paralelo de capacitores. Fonte: Autoria própria.	33
Figura 10 – Diagrama de uma associação em série de capacitores. Fonte: Autoria própria.	34
Figura 11 – Representação de um circuito RC. Fonte: Autória própria.	35
Figura 12 – Corrente de carga de um capacitor. Fonte: (NUSSENZVEIG, 1997). . .	36
Figura 13 – Capacitor plano com material dielétrico inserido entre suas placas. Fonte: Autoria própria.	38
Figura 14 – Placa Arduino Uno com as respectivas localizações de seus blocos e funcionalidades. Fonte: (SILÍCIO, 2018).	42
Figura 15 – IDE do Arduino e as suas divisões. Fonte: (SOUSA, 2013).	43
Figura 16 – Representação do <i>kit</i> didático para o ensino do conteúdo de capacitores no ensino médio. Fonte: Autoria própria.	44
Figura 17 – Protótipo garrafa de Leiden. (a) Representação da montagem da garrafa de Leiden. (b) Garrafa de Leiden pronta para ser utilizada. Fonte: Autoria própria.	46

Figura 18 – Representação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,09 m^2$. (a) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 3 mm. (b) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 5 mm. Fonte: Autoria própria.	50
Figura 19 – Representação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,07 m^2$. (a) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 3 mm. (b) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 5 mm. Fonte: Autoria própria.	51
Figura 20 – Comparação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,09 m^2$. (a) Medida obtida com apenas ar entre as placas. (b) Medida obtida após a inserção do (dielétrico) papelão. Fonte: Autoria própria.	53
Figura 21 – Comparação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,09 m^2$. (a) Medida obtida com apenas ar entre as placas. (b) Medida obtida após a inserção do (dielétrico) isopor. Fonte: Autoria própria.	54
Figura 22 – <i>Protoboard</i> e a representação da continuidade de seus grupos de barramentos. Fonte: (SILÍCIO, 2018).	55
Figura 23 – Arranjo de capacitores em série e paralelo. Fonte: Autoria própria.	56
Figura 24 – Capacitor de placas variáveis. (a) Mínimo valor de capacitância obtida com o mecanismo completamente aberto. (b) Máximo valor de capacitância obtida com o mecanismo do capacitor completamente fechado. Fonte: Autoria própria.	59
Figura 25 – Capacitor de placas variáveis. (a) Inserção de água destilada (dielétrico) no recipiente. (b) Medida realizada após a imersão do capacitor de placas variáveis na água destilada. Fonte: Autoria própria.	60
Figura 26 – Ilustração da <i>IDE</i> do Arduino contendo: bibliotecas auxiliares, mapeamento de <i>hardware</i> , <i>hardware</i> do <i>LCD</i> e variáveis globais. Fonte: Autoria própria.	63
Figura 27 – Diagrama elétrico do capacímetro digital construído no <i>Fritzing</i> . Fonte: Autoria própria.	64

Figura 28 – Ilustração das interconexões elétricas do projeto construído no <i>Fritzing</i> . Fonte: Autoria própria.	64
Figura 29 – Ilustração da <i>IDE</i> do Arduino contendo: a continuação do código a partir da função <i>void setup()</i> e seus respectivos comentários. Fonte: Autoria própria.	65
Figura 30 – Ilustração da <i>IDE</i> do Arduino contendo: a continuação do código a partir da função <i>void loop()</i> e seus respectivos comentários. Fonte: Autoria própria.	66
Figura 31 – Ilustração da <i>IDE</i> do Arduino contendo: o encerramento do código da função <i>void loop()</i> e seus respectivos comentários. Fonte: Autoria própria.	67
Figura 32 – Representação do capacímetro digital Arduino. (a) Capacímetro ligado e sem nenhum capacitor inserido. (b) Medida obtida ao inserir um capacitor eletrolítico de 100 μF . (c) Medida obtida ao inserir um capacitor eletrolítico de 220 μF . (d) Medida obtida ao inserir um capacitor eletrolítico de 1000 μF . Fonte: Autoria própria.	68

Lista de tabelas

Tabela 1 – Funções dos botões da <i>Toolbar</i> . Adaptado de: (MCROBERTS, 2015). . .	43
Tabela 2 – Materiais necessários à confecção da garrafa de Leiden.	45
Tabela 3 – Materiais necessários à confecção do protótipo capacitor de placas paralelas.	48
Tabela 4 – Materiais dielétricos que serão inseridos entre as placas do protótipo capacitor de placas paralelas.	52
Tabela 5 – Materiais utilizados nas associações série e paralelo de capacitores. . .	55
Tabela 6 – Materiais utilizados no experimento 4.5.	57
Tabela 7 – Materiais utilizados na construção do capacímetro Arduino digital. . .	61

Sumário

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	A educação em constante mutação	17
1.2	A importância da utilização de experimentos didáticos nas aulas da disciplina de Física	18
2	CAPACITORES E CAPACITÂNCIA	21
2.1	Breve histórico	21
2.2	Capacitores	22
2.3	Capacitância	23
2.4	Tipos de capacitores e capacitâncias de acordo com sua geometria	24
2.4.1	Calculando o campo elétrico e diferença de potencial	24
2.4.2	Capacitores de placas paralelas	25
2.4.3	Capacitores cilíndricos	27
2.4.4	Capacitores esféricos	30
2.4.5	Capacitância atribuída a uma esfera isolada	31
2.5	Associação de capacitores e tempo de carga e descarga	32
2.5.1	Associação de capacitores em paralelo	32
2.5.2	Associação de capacitores em série	33
2.5.3	Circuito RC série submetido a uma tensão DC	35
2.6	Dielétricos	37
3	UMA BREVE INTRODUÇÃO À PLATAFORMA ARDUINO	40
3.1	Conhecendo o Arduino Uno	41
3.2	Configurando o Arduino Uno	42
4	KIT DIDÁTICO PARA O ENSINO DO CONTEÚDO DE CAPACITÂNCIA. RESULTADOS E ANÁLISES	44
4.1	Experimento 1: Garrafa de Leiden	45
4.1.1	Objetivos	45
4.1.2	Fundamentação teórica	45

4.1.3	Procedimentos	46
4.1.4	Análise de dados	47
4.2	Experimento 2: Medida da capacitância de um capacitor de placas paralelas utilizando como dielétrico entre as placas o ar	47
4.2.1	Objetivos	47
4.2.2	Fundamentação teórica	48
4.2.3	Procedimentos	49
4.2.4	Análise de dados	49
4.3	Experimento 3: Medida da capacitância de um capacitor de placas paralelas, utilizando como dielétrico entre as placas isopor e papelão	51
4.3.1	Objetivos	51
4.3.2	Fundamentação teórica	52
4.3.3	Procedimentos	52
4.3.4	Análise de dados	54
4.4	Experimento 4: Realização de medidas com o multímetro de associações série e paralelo de capacitores	55
4.4.1	Objetivos	55
4.4.2	Fundamentação teórica	55
4.4.3	Procedimentos	55
4.4.4	Análise de dados	56
4.5	Experimento 5: Medida da capacitância de um capacitor variável	57
4.5.1	Objetivos	57
4.5.2	Fundamentação teórica	57
4.5.3	Procedimentos	58
4.5.4	Análise de dados	58
4.6	Experimento 6: Construção de um capacímetro digital com Arduino	60
4.6.1	Objetivos	60
4.6.2	Fundamentação teórica	61
4.6.3	Procedimentos	61
4.6.4	Análise de dados	67
4.7	Resultados e análises	68
5	CONCLUSÃO	70

REFERÊNCIAS	71
-----------------------	----

APÊNDICES	73
-----------	----

APÊNDICE A – CÓDIGO ARDUINO (CAPACÍMETRO DIGITAL)	74
---	----

1 Introdução

O ensino de Física tem-se realizado frequentemente mediante a apresentação de conceitos, leis e equações, de forma desarticulada, distanciados do mundo vivido pelos alunos e professores. Tornam-se vazios de significado, privilegiam a teoria e a abstração desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da investigação e da construção do conhecimento científico ([TECNOLÓGICA, 2000](#)).

Existe uma dificuldade de assimilação por parte dos alunos, quando se trata de conceitos abstratos ou pouco intuitivos, como é o caso de modelos matemáticos de diversos fenômenos. Onde, muitos desses conteúdos envolvem também processos dinâmicos que são ilustrados e discutidos por meio de representações estáticas, como figuras, diagramas em livros, gráficos ou simplesmente dispostos no quadro ([RIBEIRO; SILVA; KOCIANSKY, 2012](#)).

Para superação de tais dificuldades, os docentes em sua maioria, enfatizam a utilização de fórmulas, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam, de seu significado físico efetivo e insistem na resolução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento como um produto acabado, fruto da genialidade de mentes como as de Galileu, Newton e Einstein, contribuindo para que os alunos concluam que não existe mais nenhum problema significativo a ser solucionado ([TECNOLÓGICA, 2000](#)).

Impor tais condições de aprendizado podem trazer dois problemas aos alunos. Primeiro, elas exigem um esforço de abstração e a capacidade de manter o foco da atenção em algo não palpável. Em segundo lugar, existe em geral, uma dificuldade dos estudantes para fazer a relação entre, por exemplo, um termo de uma equação e um elemento concreto de um fenômeno físico. Isso pode levar a uma compreensão superficial do conteúdo e principalmente a formar alunos, simplesmente incapazes de generalizar os conteúdos apreendidos em sala de aula ao seu cotidiano ([RIBEIRO; SILVA; KOCIANSKY, 2012](#)).

Contudo na tentativa de solucionar esses problemas, muitos professores buscam enriquecer suas aulas, utilizando-se do recurso da experimentação. A experimentação no ensino de Física vem sendo amplamente discutida e questionada por pesquisadores

de ensino e professores em geral, principalmente devido ao fato de que, existem várias possibilidades de uso e várias abrangências pedagógicas, principalmente no tocante à consecução dos objetivos propostos, tendo em vista que a má utilização de um experimento por mais significativo que seja, pode não servir aos fins educacionais propostos, fato este devido a sua má utilização em sala de aula (VILAÇA, 2012).

Nessa vertente, o objetivo deste trabalho é propor a utilização de um kit didático de baixo custo, feito com materiais acessíveis, e ou facilmente encontrados em sucatas eletrônicas, com o claro propósito de auxiliar o docente em suas atividades de ensino, fornecendo aos discentes um material significativo capaz de diminuir a dicotomia existente entre teoria e prática, tornando a aprendizagem dos conteúdos relacionados a capacitores e suas grandezas mais prazerosa, significativa e eficaz.

1.1 A educação em constante mutação

Inúmeras mudanças vêm ocorrendo no cenário social mundial nas últimas décadas, atribuídas aos avanços científicos e tecnológicos, consequentemente desencadeando transformações em todas as áreas do conhecimento. Essas alterações exibem um mundo globalizado, cuja satisfação das necessidades dele advindas, requer que o cidadão experimente situações de construção de conhecimentos que o auxiliem no desenvolvimento de habilidades cognitivas, capazes de proporcionar o letramento científico em relação às novas demandas sociais (SILVA; SCHIRLO, 2014).

Portanto é papel da Física, agindo de forma interdisciplinar, além de fornecer um conhecimento prático essencial a uma boa educação básica, propiciar uma visão de mundo, onde o aluno possa compreender a operação de um motor elétrico ou de combustão interna, ou os princípios que regem as modernas telecomunicações, os transportes, a iluminação e o uso clínico, diagnóstico ou terapêutico das radiações (TECNOLÓGICA, 2000).

E nessa perspectiva os profissionais da educação, deverão buscar meios e alternativas que visem complementar a sua prática docente, onde em se tratando do ensino de Física, ainda deverá ser bem mais repensado e planejado, visando desmistificar o caráter que se deu a estas disciplinas ao longo do tempo, como sendo de difícil assimilação, abstratas e acima de tudo consideradas como excludentes.

Desta forma, os cursos de licenciatura vem investindo na propagação e adoção de métodos alternativos de ensino, valorizando as atividades educativas de caráter prático, experimentos de baixo custo que consigam com boa aproximação representar alguns eventos físicos, construções de maquetes, pesquisas de campo, etc. Visando tornar o aprendizado mais significativo, mais próximo do contexto social ao qual esse discente está inserido.

1.2 A importância da utilização de experimentos didáticos nas aulas da disciplina de Física

A Física é considerada, ao longo do tempo, como sendo uma disciplina de difícil assimilação, abstrata, excludente, etc. E esse quadro não decorre unicamente do despreparo dos professores, (por exemplo, professores de Física que não possuem formação na área da Física) nem das limitações impostas pelas condições escolares deficientes. Expressa ao contrário uma deformação estrutural, que veio sendo gradualmente absorvida pelos participantes do sistema escolar e que passou a ser tomada como coisa natural ([TECNOLÓGICA, 2000](#)).

Grande maioria dos alunos não mostra interesse pela Física ou por qualquer outra disciplina, devido principalmente, a questão da obrigatoriedade de ser educado. Só esse fato já inflige revolta em muitos alunos, fazendo com que o ensino perca seu sentido. As atividades em sala de aula deveriam proporcionar experiências inimagináveis aos alunos, colocando o conhecimento no centro de suas vidas e a partir dele poder melhorar a qualidade do ensino e consequentemente melhorando a vida desse discente e da sociedade como um todo ([VILAÇA, 2012](#)).

A Física tem uma maneira própria de lidar com o mundo, que se expressa não só através da forma como representa, descreve e escreve o real, mas sobretudo, na busca de regularidades, na conceituação e quantificação das grandezas, na investigação dos fenômenos, no tipo de síntese que promove ([TECNOLÓGICA, 2000](#)).

Ou seja, a educação deve ter como objetivo, preparar o aluno e o prover de habilidades e competências específicas que o torne apto a identificar problemas e questões a serem resolvidos, estimulando-o a, por conta própria, tentar entender como se dão os fenômenos físicos a sua volta como um todo.

É preciso rediscutir qual Física ensinar para possibilitar uma melhor compreensão do mundo e uma formação para a cidadania mais adequada. Sabemos todos que, para tanto, não existem soluções simples ou únicas, nem receitas prontas que garantam o sucesso (TECNOLÓGICA, 2000). Portanto essa é uma das questões primordiais a ser enfrentada pelos educadores de cada escola, de cada realidade social, procurando sempre aliar o ensino da Física de tal forma que atenda aos desejos e anseios do discente, fazendo com que o mesmo se sinta atraído e envolvido com o processo educacional, participando ativamente da construção do conhecimento.

Logicamente, para que tais tarefas se realizem, a comunidade escolar e mais especificamente os educadores, precisam dar uma nova dimensão ao ensino da Física, promovendo uma aquisição de conhecimento de forma contextualizada e integrada com a vida de cada estudante, e para isso é imprescindível que o educador consiga chamar a atenção desse discente, de tal forma que o mesmo consiga entender como se dão os fenômenos significativos ou objetos tecnológicos de interesse da sociedade como um todo.

E uma das principais ferramentas didáticas, é a atividade de demonstração ou simplesmente atividade experimental. A atividade experimental é uma das práticas humanas mais antigas, defendida por Aristóteles há muitos anos. Ele via a experimentação como algo inerente ao conhecimento, onde a partir de sua natureza factual o conhecimento universal podia ser adquirido (VILAÇA, 2012).

Sendo que, bem antes de Aristóteles, Anaximandro, um dos mais importantes filósofos jônicos, procurou entender a natureza sem invocar os deuses e para tanto utilizou-se de experimentos para determinar com precisão a duração do ano e das estações, analisando o movimento da sombra projetada por uma vareta vertical (PIRES, 2008).

Um experimento pode ser concebido considerando-se diferentes abordagens: Primeiro, a maneira clássica de se utilizar um experimento é aquela em que o aluno não tem que discutir, ou seja, ele aprende a se servir de um material, de um método, de manipular uma lei fazendo variar os parâmetros e a observar um fenômeno (SÉRÉ; COELHO; NUNES, 2003).

Existe outro tipo de abordagem, onde a lei não é questionada, ela é conhecida e utilizada para calcular um parâmetro, analogamente ao que é feito em laboratório de metrologia ou de testes. No ensino podem ser mencionados alguns exemplos, como

comparar métodos experimentais ou determinar um fenômeno físico proposto (SÉRÉ; COELHO; NUNES, 2003). Nesse tipo de abordagem a investigação dos fenômenos e a construção do conhecimento são bastante valorizados, tenta-se fazer com que, o discente sinta-se atraído a solucionar um determinado problema, pesquisando em outras fontes, construindo maquetes, idealizando situações análogas, etc.

Vale-se ressaltar que os experimentos didáticos possuem um poder enorme na construção do conhecimento, porém caso não utilizado de forma planejada e considerando as diversas possibilidades de utilização em sala de aula, podem não alcançar os objetivos propostos. Sendo assim, cabe ao educador selecionar adequadamente as tarefas experimentais, para que as mesmas consigam atender aos objetivos educacionais planejados, servindo o *kit* educacional proposto neste trabalho como ferramenta auxiliar do docente na explanação dos conceitos relacionados aos capacitores, grandezas elétricas envolvidas, associações e principais aplicações tecnológicas.

O conhecimento adquirido de forma significativa, por meio de uma atividade experimental, por exemplo, reveste-se de uma universalidade maior que o âmbito dos próprios problemas tratados, de tal forma que passa a ser instrumento para outras e diferentes investigações e à medida que o discente vai adquirindo os conhecimentos físicos propostos, ele consequentemente vai adquirindo competências específicas para lidar com um todo, desenvolvendo sínteses, investigando por conta própria os principais fenômenos, propriedades e processos que fazem parte do cotidiano, entendendo como a Física se relaciona com os vários ramos da ciência e da tecnologia.

2 Capacitores e capacitância

2.1 Breve histórico

O primeiro objeto capaz de armazenar carga elétrica de que se tem notícia, foi descoberto por volta de 1746 pelo físico holandês *Pieter van Musschenbroek*, que era professor na universidade holandesa de Leiden. Em uma de suas experimentações, ele tentava introduzir carga elétrica, na água de um *recipiente ligado a um cano metálico carregado*, através de um fio de cobre mergulhado na água, onde a geração dos elétrons era obtida por atrito. Ele e um aluno seu, ao tocarem acidentalmente no cano metálico levaram um violento choque devido à descarga das cargas acumuladas. Esse experimento ficou conhecido como garrafa de Leiden e é considerado o primeiro capacitor ou condensador de que se tem notícia ([NUSSENZVEIG, 1997](#)).

A unidade de medida de capacitância é o *farad* em homenagem ao cientista inglês Michael Faraday (1791-1867). Faraday estudou as relações entre a eletricidade estática e a corrente elétrica, e entre a eletricidade e a luz, chegando a formular uma teoria sobre a natureza eletromagnética da luz. Inventou também o voltímetro durante suas pesquisas sobre eletrólise, além de inúmeras outras contribuições à Física ([MARKUS, 2001](#)).

Cavendish em 1773 e Faraday em 1837, em pesquisas distintas, descobriram que a capacitância de um capacitor aumenta quando se coloca um isolante entre as placas. Se o espaço entre as placas estiver totalmente preenchido pelo isolante, a capacitância aumenta por um fator K que só depende da natureza do material isolante e não da forma ou tipo de capacitor ([NUSSENZVEIG, 1997](#)).

2.2 Capacitores

Capacitores são dispositivos elétricos, formados por duas placas condutoras de metal (armaduras), separadas por um material isolante chamado dielétrico (GUSSOW, 1997). Ligado às placas condutoras de metal (armaduras) estão os terminais do capacitor, que irão proporcionar a conexão deste dispositivo com outros dispositivos de circuitos elétricos (MARKUS, 2001).

A principal finalidade do capacitor é armazenar energia potencial contida em um campo elétrico (HALLIDAY, 2009).

De acordo com a ABNT, que rege a simbologia relacionada à eletricidade, os capacitores são representados em circuitos pela letra maiúscula C . De acordo com a Figura 1, temos a representação simbólica de capacitores fixos.

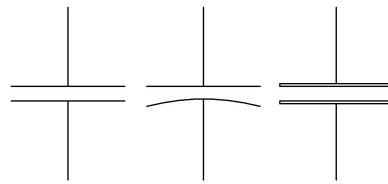


Figura 1 – Simbologia de capacitores fixos não polarizados. Fonte: Autoria própria.

A Figura 2 mostra a representação simbólica de alguns tipos de capacitores polarizados, como os eletrolíticos de Alumínio ou de Tântalo. As placas destes componentes devem ser polarizadas corretamente, caso contrário pode ocorrer a avaria do mesmo. Para evitar esse tipo de problema, o fabricante identifica o terminal positivo ou negativo no próprio encapsulamento por meio de sinais (+) e (−), respectivamente (MARKUS, 2001).

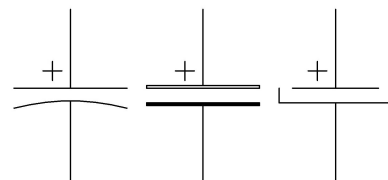


Figura 2 – Simbologia de capacitores fixos polarizados. Fonte: Autoria própria.

Existem ainda os capacitores variáveis, ver Figura 3, que possuem uma vasta gama de aplicações em circuitos que necessitam de um ajuste fino de um determinado valor de capacitância. Como exemplo, podemos citar seu uso como elementos vitais, nos circuitos com os quais sintonizamos transmissores e receptores de rádio e televisão.

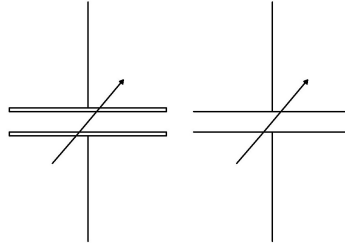


Figura 3 – Simbologia de capacitores variáveis. Fonte: Autoria própria.

De uma forma geral a energia pode ser armazenada na forma de energia potencial, de várias maneiras: esticando uma corda, distendendo uma mola, comprimindo um gás, etc. Sendo assim, também podemos armazenar a energia contida em um campo elétrico e o capacitor é o objeto apropriado para tal fim. A Figura 4 mostra exemplos de alguns capacitores comerciais. Sua utilização se dá em inúmeras aplicações: eletrônica, computação, sistema elétrico de potência, indústrias, etc (HALLIDAY, 2009).

Os capacitores se apresentam em diversas formas geométricas, logo conhecendo sua geometria podemos determinar sua capacitância.



Figura 4 – Imagem ilustrativa de vários tipos de capacitores comerciais. Disponível em: <www.eletronicaparatodos.com>. Acesso em: 18 nov. 2018.

2.3 Capacitância

Supondo por enquanto que nenhum meio material (como por exemplo, vidro ou plástico) esteja presente na região entre as placas e que o capacitor encontra-se carregado, suas placas possuem cargas iguais e contrárias, $+Q$ e $-Q$. Entretanto nos referimos à carga

do capacitor como sendo Q o valor absoluto destas cargas sobre as placas. Vale ressaltar que Q não é a carga resultante no capacitor, cujo valor é nula (HALLIDAY, 2009).

Como as placas são condutoras, elas são superfícies equipotenciais, logo todos os pontos sobre uma mesma placa condutora estão no mesmo potencial elétrico. Sendo assim, existe uma diferença de potencial entre as duas placas que por razões históricas, representa-se o valor absoluto desta diferença de potencial por V em vez de ΔV (HALLIDAY, 2009).

O coeficiente de proporcionalidade inverso de Q , em relação a V , chama-se capacitância C do par de condutores, que se diz constituir um capacitor. Logo Q , chama-se carga do capacitor (NUSSENZVEIG, 1997).

$$C \equiv \frac{Q}{V} \quad (2.1)$$

A capacitância C do capacitor depende apenas de fatores geométricos e construtivos do capacitor e não da sua carga ou da diferença de potencial. A capacitância é uma medida de quanta carga Q tem de ser colocada sobre as placas para produzir uma certa diferença de potencial V entre elas (HALLIDAY, 2009).

2.4 Tipos de capacitores e capacitâncias de acordo com sua geometria

Nossa tarefa aqui é calcular a capacitância de um capacitor qualquer, uma vez conhecida a sua geometria.

2.4.1 Calculando o campo elétrico e diferença de potencial

Para relacionarmos o campo elétrico $\vec{E}$ entre as placas de um capacitor com a carga Q sobre qualquer uma das placas, usaremos a *lei de Gauss*.

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = Q \quad (2.2)$$

Nesta equação Q é a carga envolta por uma superfície gaussiana e $\oint \vec{E} \cdot d\vec{A}$ é o fluxo elétrico resultante através dessa superfície. Pode-se escolher uma superfície gaussiana,

tal que, sempre que o fluxo elétrico passar através dela, o vetor campo elétrico $\vec{E}$ terá uma intensidade uniforme E , e os vetores $\vec{E}$ e $d\vec{A}$ serão paralelos (HALLIDAY, 2009).

Logo a (2.2) se reduz a:

$$\varepsilon_0 E A = Q \quad (2.3)$$

onde A é a área da superfície gaussiana através da qual passa o fluxo. Por conveniência desenha-se a superfície gaussiana de tal modo que ela envolva completamente a carga sobre a placa positiva, como mostra a Figura 5.

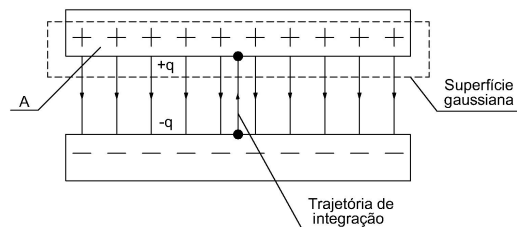


Figura 5 – Representação esquemática da superfície gaussiana e da trajetória de integração em um capacitor de placas paralelas. Fonte: Autoria própria.

A diferença de potencial entre as placas de um capacitor está relacionada com o campo $\vec{E}$ pela seguinte equação:

$$V = V_+ - V_- = - \int_-^+ \vec{E} \cdot d\vec{l} \quad (2.4)$$

2.4.2 Capacitores de placas paralelas

A Figura 6 mostra a representação de um capacitor de placas paralelas. Esse tipo de capacitor consiste em um par de placas metálicas planas carregadas, com carga $+Q$ e $-Q$ respectivamente, submetidas a uma diferença de potencial elétrico V , como por exemplo, uma fonte de corrente contínua ou corrente alternada. Logo se a distância d entre as placas é muito menor que as dimensões das placas, podemos considerá-las como se fossem planos infinitos, desprezando os efeitos de borda (NUSSENZVEIG, 1997).

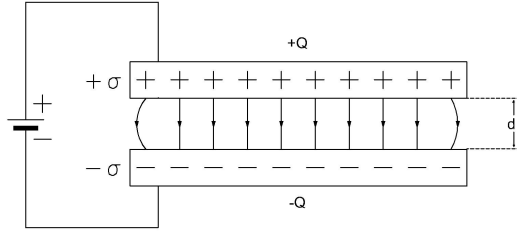


Figura 6 – Capacitor de placas paralelas. Fonte: Autoria própria.

Utilizando a lei de Gauss (2.3) e sabendo que a densidade superficial de cargas σ é dada por:

$$\sigma = \frac{Q}{A} \quad (2.5)$$

Considerando $\vec{E}$ constante por toda região entre as placas:

$$E = |\vec{E}| = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} \quad (2.6)$$

Podemos sem perda de generalidade, inverter na equação (2.4), os limites de integração, positivando o sinal da integral para fins de facilitação dos cálculos, como se segue:

$$V = V_+ - V_- = \int_+^- \vec{E} \cdot d\vec{l} = E d \quad (2.7)$$

Resolvendo essa integral chegamos à conclusão de que a diferença de potencial entre as placas de um capacitor plano pode ser dada por: $V = E d$, onde d é a distância entre as placas (NUSSENZVEIG, 1997).

Analisando a equação (2.1), temos que para um valor de capacitância C suficientemente grande, um capacitor consegue armazenar um valor de carga Q grande com um valor de tensão V bem pequeno.

Utilizando a equação (2.3), e sabendo que a diferença de potencial é dada por $V = E d$, podemos substituir na equação geral da capacitância (2.1) e encontrar a

capacitância para um capacitor de placas paralelas, equação (2.8).

$$C = \frac{\varepsilon_0 E A}{E d}$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \quad (2.8)$$

A unidade de capacitância, o *farad* F é definida por:

$$\frac{1C}{1V} = 1F \quad (2.9)$$

Se analisarmos a equação (2.8) para um capacitor de placas paralelas, temos que $A/d = L$ (dimensão de comprimento). De forma que a constante ε_0 da lei de Coulomb pode ser medida em *farads/metro*, $[\varepsilon_0] = \frac{[C] \text{ em farads}}{[L] \text{ em metro}}$. Seu valor no vácuo é: $8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F/m}$.

Sendo assim a capacitância de qualquer capacitor pode ser escrita na forma:

$$[C] = [\varepsilon_0] [L] \quad (2.10)$$

2.4.3 Capacitores cilíndricos

A Figura 7 mostra um corte transversal de um capacitor cilíndrico longo de comprimento L formado por dois cilindros coaxiais de raios a e b . O cilindro de raio interno a possui uma intensidade de carga $+Q$ e o de raio externo b carga $-Q$. O efeito de borda do campo elétrico que ocorre nas extremidades do cilindro pode ser desprezado, supondo-se que $L \gg b$ (HALLIDAY, 2009).

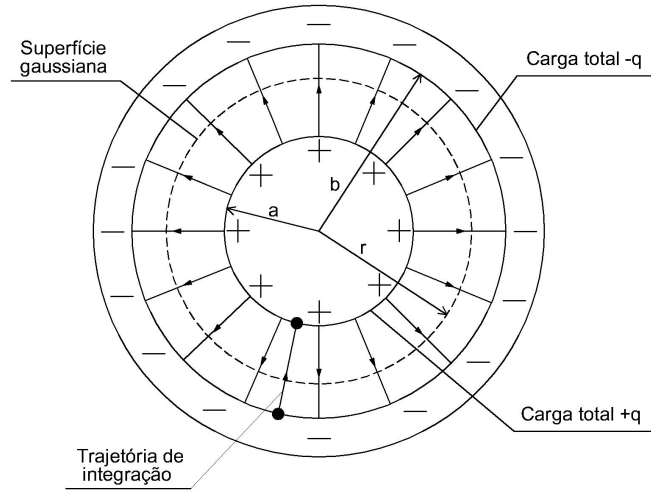


Figura 7 – Vista superior contendo a superfície gaussiana de um capacitor cilíndrico.
Fonte: Autoria própria.

Escolhe-se como superfície gaussiana um cilindro de raio r e comprimento L entre os raios a e b do capacitor cilíndrico (ver Figura 7). Pode-se encontrar a carga Q contida nesse cilindro da superfície gaussiana, utilizando a equação (2.3) e sabendo que a área A do mesmo é: $A = 2\pi rL$. Que produz como resultado:

$$Q = \varepsilon_0 E (2\pi rL) \quad (2.11)$$

Sabendo que não existe fluxo através das bases do cilindro e resolvendo para o E :

$$E = \frac{Q}{\varepsilon_0 (2\pi rL)} \quad (2.12)$$

Utilizando a equação (2.7), tem-se:

$$V = V_+ - V_- = \int_+^- \vec{E} \cdot d\vec{r} \quad (2.13)$$

Substituindo a (2.11) na (2.12) e variando o raio de a até b :

$$V = V_+ - V_- = \frac{Q}{\varepsilon_0 (2\pi L)} \int_a^b \frac{1}{r} dr \quad (2.14)$$

Resolvendo a integral:

$$V = V_+ - V_- = \frac{Q}{\varepsilon_0 (2\pi L)} \ln(b) - \ln(a)$$

$$V = V_+ - V_- = \frac{Q}{\varepsilon_0 (2\pi L)} \ln \left(\frac{b}{a} \right) \quad (2.15)$$

Isolando V na equação (2.1) e substituindo na equação (2.15), temos então pela (2.16) determinada a capacitância para um capacitor cilíndrico.

$$\frac{Q}{C} = \frac{Q}{\varepsilon_0 (2\pi L)} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{\varepsilon_0 (2\pi L)} \ln \left(\frac{b}{a} \right)$$

$$C = \frac{\varepsilon_0 (2\pi L)}{\ln \left(\frac{b}{a} \right)} \quad (2.16)$$

Vemos que a capacitância de um capacitor cilíndrico, como a de um capacitor de placas paralelas, depende apenas de fatores geométricos construtivos, neste caso o comprimento L e os raios interno e externo a e b , respectivamente (HALLIDAY, 2009).

A garrafa de Leiden era um capacitor deste tipo, mas com vidro entre as placas, onde as placas condutoras eram feitas em geral de folha de alumínio (NUSSENZVEIG, 1997). De acordo com a Figura 7 se b é igual a $a + d$, com ($d \ll a$), onde d é a distância entre as placas, vem que:

$$\ln \left(\frac{b}{a} \right) \Rightarrow \ln \left(\frac{d}{a} + 1 \right) \approx \left(\frac{d}{a} \right) \quad \text{onde} \quad \left(\frac{d}{a} \ll 1 \right) \quad (2.17)$$

Sendo assim a equação (2.16) fica da seguinte maneira:

$$C = \frac{\varepsilon_0 (2\pi L)}{\left(\frac{d}{a} \right)} \Rightarrow C = \frac{\varepsilon_0 (2\pi a L)}{d} \quad (2.18)$$

Note que $(2\pi aL)$ é a área da superfície lateral do cilindro A , mostrando que o capacitor cilíndrico é como um capacitor plano *enrolado*. Logo a equação (2.18), fica (NUSSENZVEIG, 1997):

$$C = \frac{\varepsilon_0 A}{d} \quad (2.19)$$

Para exemplificarmos caso construíssemos um capacitor experimental semelhante a uma garrafa de Leiden, com dimensões de: $L = 20 \text{ cm}$; $a = 5 \text{ cm}$ e $d = 1 \text{ mm}$, utilizando a equação (2.16), a capacitância desse protótipo seria da ordem de (NUSSENZVEIG, 1997):

$$C = \frac{2 \pi (2 \cdot 10^{-2}) (8,85 \cdot 10^{-12})}{\ln \left(\frac{5,1}{5} \right)}$$

$$C = 5,6 \cdot 10^{-10} \text{ F} \quad \Rightarrow \quad C = 560 \text{ pF}$$

2.4.4 Capacitores esféricos

Os capacitores esféricos são formados por um par de esferas condutoras concêntricas de raios R_1 e R_2 . Onde R_1 é o raio interno e R_2 é o raio externo, como mostra a Figura 8.

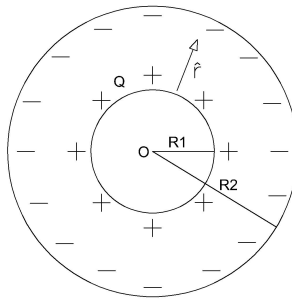


Figura 8 – Representação esquemática de um capacitor esférico. Fonte: Autoria própria.

Traçando uma superfície gaussiana de raio r concêntrica com as duas cascas, onde $(R_1 < r < R_2)$. Pode-se encontrar a carga Q contida nessa esfera delimitada pela gaussiana, utilizando a equação (2.3) e sabendo que a área da superfície gaussiana esférica é: $A = 4\pi r^2$ e produz como resultado:

$$Q = \varepsilon_0 E (4\pi r^2) \quad (2.20)$$

Resolvendo a equação (2.20) para o campo elétrico, obtemos:

$$E = \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0 r^2)} \quad (2.21)$$

Substituindo a equação (2.21) na equação (2.13) da diferença de potencial, temos:

$$V = \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0)} \int_a^b \frac{1}{r^2} dr \quad (2.22)$$

Resolvendo a integral temos:

$$\begin{aligned} V &= \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0)} \left[-\frac{1}{r} \right]_a^b \Rightarrow V = \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0)} \left[-\frac{1}{b} - \left(-\frac{1}{a} \right) \right] \\ V &= \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0)} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{b} \right) \Rightarrow V = \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0)} \left(\frac{b-a}{a b} \right) \end{aligned} \quad (2.23)$$

Isolando V na equação (2.1) e substituindo na equação (2.23), temos então pela (2.24) determinada a capacitância para um capacitor esférico:

$$\begin{aligned} \frac{Q}{C} &= \frac{Q}{(4\pi\epsilon_0)} \left(\frac{b-a}{a b} \right) \Rightarrow \frac{1}{C} = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)} \left(\frac{b-a}{a b} \right) \\ C &= (4\pi\epsilon_0) \left(\frac{a b}{b-a} \right) \end{aligned} \quad (2.24)$$

2.4.5 Capacitância atribuída a uma esfera isolada

Podemos atribuir uma capacitância a um único condutor esférico isolado de raio R supondo que a *placa que está faltando* é uma esfera condutora de raio infinito. Afinal de contas, as linhas de campo que saem da superfície de um condutor isolado, carregado positivamente, têm de terminar em algum lugar. As paredes do ambiente no qual o condutor está abrigado podem efetivamente servir como nossa esfera de raio infinito (HALLIDAY, 2009).

Sendo assim para determinar a capacitância do condutor isolado, em primeiro lugar deve-se reescrever a equação (2.24):

$$C = (4\pi\epsilon_0) \left[\frac{a b}{b \left(1 - \frac{a}{b}\right)} \right] \Rightarrow C = (4\pi\epsilon_0) \left[\frac{a}{\left(1 - \frac{a}{b}\right)} \right]$$

Se fizermos $b \rightarrow \infty$ e substituirmos a por R , encontramos pela (2.25) a capacitância para uma esfera isolada carregada positivamente.

$$C = 4\pi\epsilon_0 a \quad (2.25)$$

2.5 Associação de capacitores e tempo de carga e descarga

2.5.1 Associação de capacitores em paralelo

Num circuito os capacitores podem estar ligados em série e/ou paralelo, em função da necessidade de dividir a tensão e/ou a corrente ou de se obter uma capacitância diferente dos valores comerciais disponíveis (MARKUS, 2001).

Quando uma diferença de potencial V é aplicada entre as placas de vários capacitores ligados em paralelo, essa diferença de potencial V , é aplicada entre as placas de cada capacitor. A carga total Q armazenada sobre os capacitores é a soma das cargas armazenadas sobre todos os capacitores (MARKUS, 2001).

Sendo assim, capacitores ligados em paralelo, de acordo com o diagrama da Figura 9, podem ser substituídos por um capacitor equivalente que possui a mesma carga total Q e a mesma diferença de potencial V que os capacitores reais que foram utilizados (HALLIDAY, 2009).

As placas superiores formam um condutor único, de carga total:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad (2.26)$$

E potencial V_+ , logo:

$$Q_1 = C_1 V; \quad Q_2 = C_2 V; \quad Q_3 = C_3 V \quad (2.27)$$

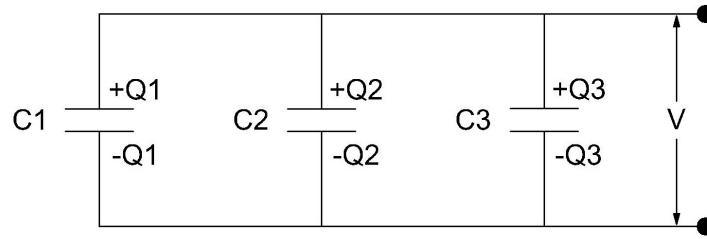


Figura 9 – Diagrama de uma associação em paralelo de capacitores. Fonte: Autoria própria.

Substituindo as equações (2.27) na (2.26), temos:

$$Q = (C_1 V + C_2 V + C_3 V) = V (C_1 + C_2 + C_3)$$

$$\frac{Q}{V} = (C_1 + C_2 + C_3)$$

Como $V \equiv V_+ - V_-$ e sabendo que pela (2.1), $C \equiv \frac{Q}{V}$. Logo o conjunto é equivalente a um capacitor único, de capacitância equivalente C_{eq} (NUSSENZVEIG, 1997).

$$C_{eq} = (C_1 + C_2 + C_3) \quad (2.28)$$

Um resultado que pode ser facilmente estendido a um número "n" de capacitores, em forma de somatória como se segue (HALLIDAY, 2009):

$$C_{eq} = \sum_{j=1}^n C_j \quad (2.29)$$

2.5.2 Associação de capacitores em série

Capacitores que estão ligados em série, como mostra a Figura 10, podem ser substituídos por um capacitor equivalente que possui a mesma carga Q e a mesma diferença de potencial total V que os capacitores que estão realmente em série (HALLIDAY, 2009).

Analisando um circuito de capacitores em série, temos que: quando uma diferença de potencial V é aplicada entre as placas de vários capacitores conectados em série, os

capacitores possuem cargas idênticas Q . A soma das diferenças de potencial entre as placas de todos os capacitores é igual à diferença de potencial V aplicada (HALLIDAY, 2009).

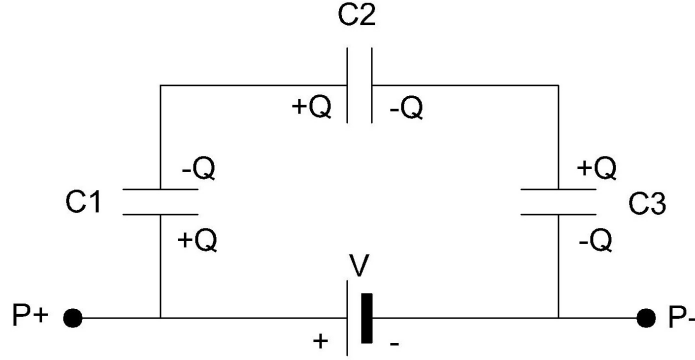


Figura 10 – Diagrama de uma associação em série de capacitores. Fonte: Autoria própria.

$$C = V_1 + V_2 + V_3 \quad (2.30)$$

Como: $V_1 = \frac{Q}{C_1}$; $V_2 = \frac{Q}{C_2}$; $V_3 = \frac{Q}{C_3}$, substituindo na (2.30):

$$C = \frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2} + \frac{Q}{C_3} = Q \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

$$\frac{V}{Q} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right)$$

Pela (2.1) $\frac{V}{Q} \equiv \frac{1}{C}$, Logo o conjunto é equivalente a um capacitor único, de capacitância equivalente C_{eq} (NUSSENZVEIG, 1997).

$$\frac{1}{C_{eq}} = \left(\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} \right) \quad (2.31)$$

Podendo este resultado ser facilmente estendido para um número "n" qualquer de capacitores.

$$\frac{1}{C_{eq}} = \sum_{j=1}^n \frac{1}{C_j} \quad (2.32)$$

2.5.3 Circuito RC série submetido a uma tensão DC

A Figura 11 mostra um circuito série, formado por um capacitor C e por um resistor R , submetidos a uma *fem* (ϵ), onde o resistor R que é igual a $(R' + r)$, onde R' é a resistência do próprio resistor e r é a resistência interna da bateria em ohms (Ω) (NUSSENZVEIG, 1997).

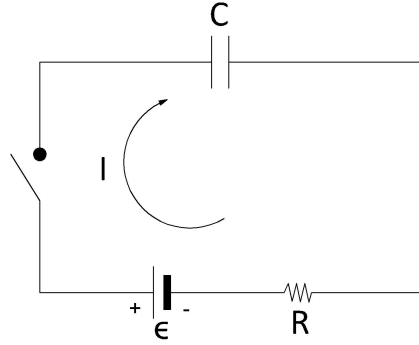


Figura 11 – Representação de um circuito RC. Fonte: Autória própria.

Note que quando a chave do circuito da Figura 11 é fechada, existirá no circuito um fluxo de corrente que, analisando o fluxo convencional e utilizando a 1ª lei de Kirchhoff, temos:

$$R I(t) - \epsilon + \frac{q(t)}{C} = 0 \quad (2.33)$$

Onde $I(t)$ é a corrente no instante t e $q(t)$ é a carga armazenada nesse mesmo instante, onde $I(t)$ relaciona-se com $q(t)$ por:

$$I(t) = \frac{dq}{dt} \quad (2.34)$$

Derivando a equação (2.33) em relação ao tempo t , temos:

$$R \frac{dI}{dt} + \frac{1}{C} \frac{dq}{dt} = 0 \quad (2.35)$$

Sabendo que $\frac{dq}{dt} = I$ e depois dividindo tudo por R , encontramos:

$$\frac{dI}{I} = \frac{-1}{RC} dt \quad (2.36)$$

Integrando o termo da esquerda da equação (2.36), de uma corrente variando de um instante inicial $I(0)$ até uma corrente em um instante qualquer $I(t)$. E o termo após a igualdade de um instante inicial até um instante t qualquer:

$$\int_{I(0)}^{I(t)} \frac{dI}{I} = \frac{-1}{RC} \int_0^t dt \quad (2.37)$$

Resolvendo a (2.37), temos:

$$\ln [I(t)] - [I(0)] = \frac{-t}{RC} \Rightarrow \ln \left[\frac{I(t)}{I(0)} \right] = \frac{-t}{RC} \Rightarrow I(t) = I(0) e^{\left[\frac{-t}{RC} \right]}$$

Como $I(0) = \frac{\epsilon}{R}$, concluímos que:

$$I(t) = \frac{\epsilon}{R} e^{\left[\frac{-t}{RC} \right]} \quad (2.38)$$

No gráfico da Figura 12, temos o processo de carregamento para um capacitor C submetido a uma *fem* (ϵ). Observe que a corrente possui o valor inicial $\frac{\epsilon}{R}$ e que decresce até zero quando o capacitor se torna completamente carregado (HALLIDAY, 2009). E que no intervalo de tempo $\tau_c = RC$ o capacitor adquire (ou perde) cerca de 66% de sua carga total (ou inicial) (REDONDO; L., 1996).

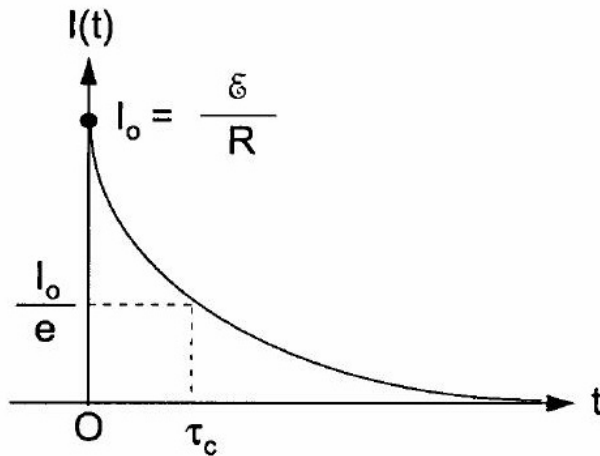


Figura 12 – Corrente de carga de um capacitor. Fonte: (NUSSENZVEIG, 1997).

Fazendo uma análise dimensional, temos que: $[R] = \frac{Volt}{Ampere}$; $[C] = \frac{Coulomb}{Volt}$, sendo assim o produto $RC = 1,0 \Omega \times 1,0 F = 1 s$, possui dimensão de tempo. Portanto

sendo chamada de constante de tempo capacitiva do circuito, sendo representada por τ_c (HALLIDAY, 2009).

Note que a corrente de carga do capacitor cai exponencialmente com o tempo e $\tau_c = RC$ é justamente o tempo que leva para que a corrente inicial $I(0)$ caia a um fator de $\frac{1}{e}$, logo para um $t \gg \tau_c$, a corrente $I(t) \approx 0$ e o capacitor atinge a carga final $Q = C \epsilon$ (NUSSENZVEIG, 1997).

2.6 Dielétricos

Nem todas as substâncias que compõem os diversos materiais encontrados na natureza (sólidos, líquidos, gases, metais, madeiras, vidros, etc.), se comportam da mesma forma, quando submetidos a campos eletrostáticos. Mesmo assim a maioria dos objetos do dia a dia pertence (pelo menos com boa aproximação) a uma de duas grandes classes, que são: os materiais condutores e os materiais isolantes (GRIFFITHS, 2011).

Os materiais condutores são substâncias que contém uma fonte ilimitada de cargas livres para se movimentarem através do material. Na prática o que isso normalmente significa é que muitos elétrons, um ou dois por átomo, em um metal típico, não estão associados a qualquer núcleo em particular, mais transitam a vontade. Nos isolantes (dielétricos) em contra partida, todas as cargas estão ligadas a átomos ou moléculas específicos, ou seja, estão presos e só podem movimentar-se um pouco dentro do átomo ou molécula (GRIFFITHS, 2011).

Um material *dielétrico* é um isolante elétrico (não metálico) e exibe, ou pode ser produzido, para exibir uma estrutura de dipolo elétrico, ou seja, ao nível molecular ou atômico, há uma separação entre as entidades positivas e negativas eletricamente carregadas. Os materiais dielétricos são largamente utilizados na construção de capacitores (WILLIAN; DAVID, 2018).

Se um material dielétrico for inserido na região entre as placas, ver Figura 13, (sendo que até agora havíamos considerado a existência apenas de vácuo). O que acontece com o campo elétrico $\vec{E}$, na presença de um material isolante?

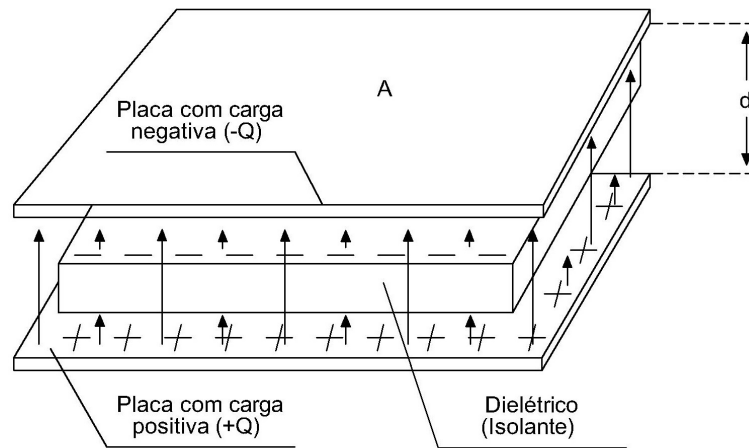


Figura 13 – Capacitor plano com material dielétrico inserido entre suas placas. Fonte: Autoria própria.

Caso o espaço entre as placas esteja completamente preenchido por um material isolante, a capacitância aumenta por um fator K que só depende da natureza do material isolante e não da forma ou tipo do capacitor. Esse fator chama-se constante dielétrica do isolante (NUSSENZVEIG, 1997).

$$C = K C_0 \quad (2.39)$$

Onde C_0 se refere ao valor da capacitância com a existência de vácuo entre as placas, onde para o qual K tem de ser 1.

Outro efeito da introdução de um dielétrico é limitar a diferença de potencial que pode ser aplicada entre as placas a um certo valor V máxima, chamado de *tensão de ruptura*. Se este valor for substancialmente excedido, o material dielétrico se romperá e formará um percurso condutor entre as placas. Todo material dielétrico possui uma *rigidez dielétrica* característica, que é o valor máximo do campo elétrico que ele pode tolerar sem se romper (HALLIDAY, 2009).

Sabendo que a capacitância de qualquer capacitor pode ser escrita na forma da equação (2.10): $C_0 = \epsilon_0 L$, onde para um capacitor de placas paralelas, $L = \frac{A}{d}$ e possui dimensão de comprimento (HALLIDAY, 2009). Substituindo C_0 , na (2.33), temos:

$$C = K \epsilon_0 L \quad (2.40)$$

Quando uma placa dielétrica espessa é inserida entre as placas, a carga Q sobre as placas aumenta de um fator K . A carga adicional é entregue às placas do capacitor pela bateria, mantendo $V = \text{constante}$. Logo, em uma região completamente preenchida por um material dielétrico de constante dielétrica K , todas as equações eletrostáticas que contém a constante de permissividade ε_0 devem ser modificadas substituindo ε_0 por $K \varepsilon_0$ (HALLIDAY, 2009).

3 Uma breve introdução à plataforma Arduino

Dentre as plataformas construídas para microcontroladores, o Arduino tem se destacado no cenário mundial pela facilidade de programação, versatilidade e baixo custo. Mesmo para aqueles que desejam interação de alto nível, o Arduino tem atendido às expectativas (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011).

O conceito Arduino surgiu na Itália em 2005, com o objetivo de criar um dispositivo que fosse utilizado em projetos e ou protótipos construídos de uma forma menos dispendiosa do que outros sistemas disponíveis no mercado. A nova placa foi chamada Arduino em homenagem a um bar local frequentado por membros do corpo docente e discente do Instituto da cidade de Ivrea e eram vendidas em forma de *kit* para que os alunos fizessem seus próprios projetos (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

O Arduino consiste, em uma plataforma que foi construída para promover a interação física entre o ambiente externo e o computador, utilizando dispositivos eletrônicos de forma simples e baseada em *softwares* e *hardwares* livres (CAVALCANTE; TAVOLARO; MOLISANI, 2011).

O *IDE*¹ é o *software* da plataforma Arduino. Sem o *IDE* seu Arduino é somente uma placa com alguns componentes eletrônicos e para que ele realize algum trabalho útil, você deve dar-lhe instruções, ou seja programá-lo. O próprio *IDE* do Arduino fornece tudo o que é necessário para programá-lo, incluindo exemplos de programas ou *sketchs*² que demonstram como conectá-lo e comunicar-se com alguns dispositivos comuns, tais como: *LEDs*, *LCDs* e alguns sensores (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

¹ (*IDE- Integrated Development Environment*), é um *software* livre que lhe permite programar na linguagem que o Arduino entende, é baseada na linguagem *C/C++* e pode ser estendida por meio de bibliotecas *C++* (MCROBERTS, 2015).

² O termo *sketch* vem de *Processing*, uma linguagem frequentemente ensinada a estudantes de *design* e artes, na qual o *Arduino IDE* é baseado. Aqueles que já são familiarizados com programação devem pensar em um *sketch* como sendo um programa de *software* (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Em se tratando do *hardware*, existem até o momento várias versões do Arduino, todas baseadas em um microcontrolador de *8 bits Atmel AVR reduced instruction set computer (RISC)*. Esse trabalho utiliza-se do Arduino Uno, que se trata de uma das versões mais recentes do Arduino e utiliza o *microcontrolador ATmega328* com uma *memória flash de 32 KB*, podendo comutar automaticamente entre *USB* e corrente contínua. Suas placas possuem 14 pinos digitais e 6 entradas analógicas, onde cada uma delas pode ser definida como sendo de entrada ou de saída (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

3.1 Conhecendo o Arduino Uno

O Arduino Uno é uma boa opção multiuso e é sua melhor aposta para uma placa de partida com fonte de alimentação autochaveada e tensão integrada de 3,3 V regulada (MCROBERTS, 2015).

A Figura 14 mostra a identificação de uma placa Arduino Uno e suas respectivas funcionalidades, sendo: 1- *Microcontrolador ATmega328*, cérebro do Arduino; 2- Conector *USB*, conecta o Arduino ao computador permitindo a comunicação e servindo como uma boa opção de alimentação para a placa; 3- *Pinos de entrada e saída*, pinos que podem ser programados para agirem como entradas ou saídas, provendo a interação do Arduino com o meio externo. O Arduino possui 14 portas digitais (I/O), 6 pinos de entrada analógica e 6 saídas analógicas *PWM*; 4- *Pinos de alimentação*, fornecem diversos valores de tensão que podem ser utilizados para energizar os componentes do seu projeto. Devem ser utilizados com cuidado para que não sejam forçados a fornecer valores de corrente não suportados pela placa; 5- *Botão de reset*, reinicia a placa Arduino (SILÍCIO, 2018).

Continuando com a identificação dos componentes de uma placa Arduino Uno de acordo com a Figura 14, temos: 6- *Conversor serial USB*, permite a comunicação entre o computador e o microcontrolador. *LEDs TX/RX*, acendem quando o Arduino está transmitindo e recebendo dados pela porta serial; 7- *Conector de alimentação*, responsável por receber a energia da alimentação externa, que pode ter uma tensão de no mínimo 7 Volts (*DC*) e no máximo 20 Volts (*DC*) e uma corrente máxima de 300 mA (*DC*). Recomenda-se 9 Volts (*DC*) com um pino redondo de 2,1 mm e centro positivo, caso a placa também esteja conectada ao *USB* ela dará preferência automaticamente pela alimentação externa; 8- *LED de alimentação*, indica se a placa está energizada e 9- *LED*

interno, *LED* conectado ao pino digital 13 (SILÍCIO, 2018).

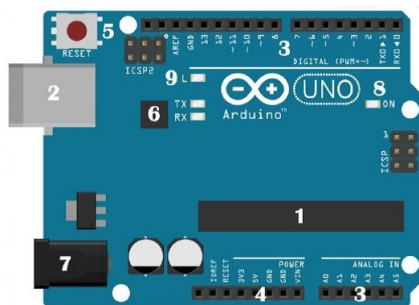


Figura 14 – Placa Arduino Uno com as respectivas localizações de seus blocos e funcionalidades. Fonte: (SILÍCIO, 2018).

3.2 Configurando o Arduino Uno

Esta seção explicará como configurar o Arduino Uno pela primeira vez, utilizando o *Windows* como sistema operacional. Caso o sistema operacional utilizado seja o *Linux*, as instruções deverão ser consultadas na seção *Getting Started* no site do Arduino, no endereço eletrônico: <http://playground.arduino.cc/learning/linux>. Após fazer o *download* e a descompactação do arquivo *ZIP*, a pasta descompactada deverá ser colocada no lugar de preferência do usuário (área de trabalho, *pen drive*, etc.), mantendo a estrutura de diretórios intacta (MCROBERTS, 2015).

Antes de instalar os *drives*, é necessário conectar a placa Arduino com o computador por meio do cabo *USB* (observe que o *LED* verde da placa ficará aceso, indicando que a mesma encontra-se ligada). Em seguida o *Windows* irá tentar instalar os *drives* para o Arduino, cuja tentativa automática de instalação irá falhar e apresentar uma mensagem: “*device driver software was not successfully installed*” (o *driver* do dispositivo não foi instalado com sucesso) (RENNA et al., 2013).

Após a tentativa de instalação dos *drives* mal sucedida pelo *Windows*, clique em menu *Iniciar* e depois em *Painel de controle*, navegue até *Sistema e segurança*, clique em *Sistema* e depois abra o *Gerenciador de Dispositivos*. Na lista de *hardwares*, logo abaixo de *Outros Dispositivos*, contém um item “*Arduino Uno*” com um ícone amarelo de aviso. Clique com o botão direito do *mouse* sobre o ícone do “*Arduino Uno*” e escolha a opção *Atualizar Driver*, ele vai abrir uma caixa de diálogo, sendo necessário clicar em *Procurar driver no menu computador* (MCROBERTS, 2015).

A seguir vá até a pasta do *driver* de instalação do Arduino e clique no botão *Next* (avanzar) e o *Windows* irá concluir a instalação do *driver*. Todavia se aparecer uma mensagem: “*Windows can’t verify the publisher of this driver software*” (O *Windows* não consegue verificar o fornecedor deste *driver*), ela deverá ser ignorada clicando em “*Install this driver software anyway*” (Instalar este *driver* mesmo assim). Os *drivers* serão instalados com sucesso e o *IDE* do Arduino estará pronto para ser utilizado e apresentará o primeiro *sketch* conforme mostra a Figura 15 (MCROBERTS, 2015).

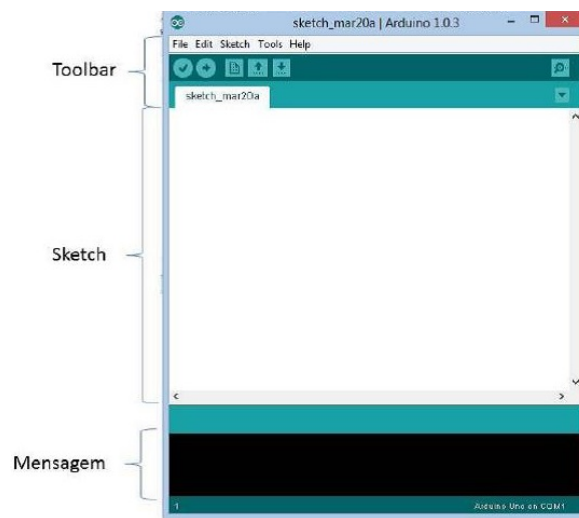


Figura 15 – IDE do Arduino e as suas divisões. Fonte: (SOUSA, 2013).

O *IDE* do Arduino é dividido em três partes, como mostra a Figura 15. A *Toolbar* ou barra de ferramentas, no topo, o código ou a *Sketch Window* no meio e a janela de mensagens na base (SOUSA, 2013). Os botões da barra de ferramentas ou (*Toolbar*) e suas respectivas funções estão listadas na tabela 1.

Tabela 1 – Funções dos botões da *Toolbar*. Adaptado de: (MCROBERTS, 2015).

Botão	Função
Verify	Verifica se há erros no código
Upload	Faz o <i>Upload</i> do <i>Sketch</i> atual para o Arduino
New	Cria um <i>sketch</i> em branco
Open	Exibe uma lista de <i>sketchs</i> para serem abertos no seu <i>Sketchbook</i>
Save	Salva o <i>sketch</i> atual no seu <i>Sketchbook</i>
Serial Monitor	Exibe os dados seriais enviados a partir do Arduino

4 Kit didático para o ensino do conteúdo de capacitância. Resultados e análises

Neste capítulo apresentamos o *kit* didático desenvolvido no presente trabalho. O objetivo desse *kit* é servir como material de apoio a ser utilizado pelo docente em aulas relacionadas aos temas: capacitores ou condensadores; capacidade ou capacitância elétrica do capacitor; energia armazenada num capacitor e associações de capacitores em circuitos elétricos. A Figura 16 mostra o *kit* proposto, do qual é parte integrante um roteiro de atividades e experimentos de baixo custo, que podem ser facilmente reproduzidos, tanto pelo docente individualmente, quanto como proposta de trabalhos extras e realização de experiências, que podem ser reproduzidos no próprio ambiente escolar pelos discentes.



Figura 16 – Representação do *kit* didático para o ensino do conteúdo de capacitores no ensino médio. Fonte: Autoria própria.

E como discutido na introdução deste trabalho, por se tratar a Física de uma disciplina que dispõe de conceitos considerados abstratos ou pouco intuitivos (TECNOLÓGICA, 2000), faz-se necessário a utilização de meios que tornem a aprendizagem mais significativa e palpável, proporcionando ao discente uma atividade prática que o auxiliará a compreender de forma mais significativa os conteúdos abordados.

Pretende-se que o uso deste *kit* estimule o discente a uma compreensão profunda

dos conhecimentos adquiridos em sala de aula. Que o docente venha a se utilizar de tais experimentos, fazendo o aluno sentir-se motivado e reconhecer a relação que o conteúdo possui com as diversas áreas da tecnologia, como por exemplo: saúde, eletrônica, distribuição de energia, economia de energia, etc.

4.1 Experimento 1: Garrafa de Leiden

4.1.1 Objetivos

Neste experimento pretende-se: reproduzir a construção do primeiro condensador ou acumulador da história; reconhecer que a garrafa de Leiden foi uma invenção revolucionária, pois permitiu pela primeira vez que cargas elétricas pudessem ser armazenadas; mostrar que após o processo de eletrização a garrafa de Leiden consegue armazenar cargas elétricas; relacioná-la com o capacitor cilíndrico, analisando seus aspectos construtivos e geométricos.

A Tabela 2, contém a descrição dos materiais necessários à confecção da garrafa de Leiden.

Tabela 2 – Materiais necessários à confecção da garrafa de Leiden.

Quantidade	Descrição do material e unidades de medida
1	Recipiente de vidro, com tampa em PVC, medindo: 15 <i>cm</i> de altura e 7 <i>cm</i> de diâmetro
1	Puxador de armário metálico
1	Pedaco de papel alumínio, medindo: 9 × 30 <i>cm</i>
1	Metro de fio de cobre rígido de bitola 1,5 <i>mm</i> ²
1	Pedaco de cano em PVC de 3/4" medindo 50 <i>cm</i> de comprimento
5	Papéis toalha

4.1.2 Fundamentação teórica

A garrafa de Leiden é o primeiro capacitor que se tem notícia, foi inventada em 1746 pelo cientista e professor holandês Pieter van Musschenbroek (NUSSENZVEIG, 1997). Até então se conseguia produzir cargas elétricas por meio do atrito entre diferentes substâncias, porém a armazenagem de tais cargas elétricas era impossível. A garrafa de Leiden ficou célebre com o nome da Universidade onde foi criada e não com o de seu inventor e permitiu

pela primeira vez na história, que cargas elétricas pudessem ser armazenadas (PENTEADO; TORRES, 2005).

Foi com uma garrafa de Leiden que, em 1750, Benjamim Franklin armazenou eletricidade proveniente de um raio captado por uma pipa, provando que esse fenômeno atmosférico constitui uma descarga elétrica (PENTEADO; TORRES, 2005).

4.1.3 Procedimentos

O procedimento consiste em enrolar o papel alumínio medindo $9 \times 30 \text{ cm}$ na parte externa do recipiente de vidro ou plástico de medidas: 15 cm de altura e 7 cm de diâmetro. Em seguida descascar o fio rígido de bitola $1,5 \text{ mm}^2$ e 1 metro de comprimento. Utilizando um cano de PVC de $3/4''$ para enrolar o fio, formando um espiral, onde o início do espiral deve ser enrolado no parafuso do puxador metálico e fixado de forma a passar por um furo no centro da tampa do recipiente, unindo-se o espiral e o puxador metálico, provendo continuidade elétrica entre os mesmos, como mostra a Figura 17a.

A Figura 17b, mostra a garrafa de Leiden montada, a qual deve ser preenchida com uma solução concentrada e homogênea de água + *Cloreto de Sódio* (água + sal), para facilitar o acúmulo de cargas no protótipo capacitor.

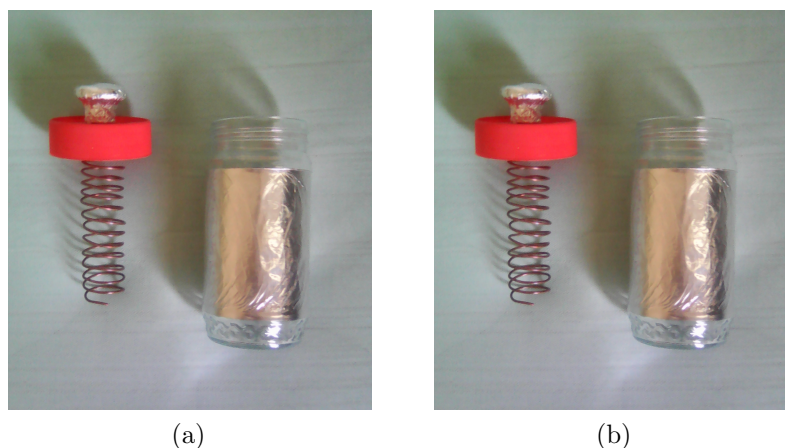


Figura 17 – Protótipo garrafa de Leiden. (a) Representação da montagem da garrafa de Leiden. (b) Garrafa de Leiden pronta para ser utilizada. Fonte: Autoria própria.

Em seguida realizar uma medida com o multímetro calibrado na escala de *pico* ou *nanofarads* e verificar que não existe acúmulo de cargas elétricas. Eletrizar por atrito um pedaço de cano de PVC de mais ou menos uns 70 cm de comprimento com um papel toalha

ou um pano de lã e carregar a garrafa de Leiden por contato, transferindo os elétrons do cano para o recipiente.

4.1.4 Análise de dados

Verificar a capacitância da garrafa de Leiden, utilizando o multímetro calibrado na escala de *nanofarads*, comparando com uma medida realizada antes do processo de acumulação de cargas. Após isso pode-se fazer um cordão humano com três voluntários e descarregar a garrafa de Leiden, verificando na prática que existiam cargas acumuladas no condensador experimental.

4.2 Experimento 2: Medida da capacitância de um capacitor de placas paralelas utilizando como dielétrico entre as placas o ar

4.2.1 Objetivos

Neste experimento pretende-se: calcular a capacitância de um capacitor de placas paralelas, verificando as correlações existentes entre as grandezas: potencial elétrico, carga elétrica, campo elétrico, constante de permissividade do meio, tamanho das placas, distância entre as placas, etc.; reconhecer que a capacitância é inversamente proporcional à distância existente entre as placas (armaduras) do capacitor; reconhecer que o tamanho das placas (armaduras) é diretamente proporcional à capacitância.

A Tabela 3, contém a descrição dos materiais necessários à confecção do protótipo capacitor de placas paralelas.

Tabela 3 – Materiais necessários à confecção do protótipo capacitor de placas paralelas.

Quantidade	Descrição do material e unidades de medida
2	Formas de pizza de 34,5 cm de diâmetro
2	Formas de pizza de 30,0 cm de diâmetro
1	Base de acrílico medindo 70 × 50 cm
18	Parafusos estarrachantes <i>Philips</i> 20 × 3 mm
1	Multímetro que possua escala de medir capacitâncias de <i>pico</i> a <i>microfarads</i>
1	Metro de cano em PVC de 3/4"
1	Metro de cano em PVC de 1/2"
3	Tês em PVC de 3/4"
1	Joelho em PVC de 1/2"
1	<i>Taps</i> em PVC de 1/2"
1	Bucha redução em PVC de 3/4" para 1/2"
1	Luva "LR" em PVC de 3/4"
1	Luva "LR" em PVC de 1/2"
1	Flange em PVC de 3/4"
3	Flanges em PVC de 1/2"

4.2.2 Fundamentação teórica

Eletricamente, a capacitância C é a capacidade de armazenamento de carga elétrica e é igual à quantidade de carga Q que pode ser armazenada num capacitor dividida pela diferença de potencial V , ver equação (2.1), aplicado entre às placas ou armaduras (GUSSOW, 1997). Tal grandeza é diretamente proporcional à área das placas e inversamente proporcional à distância que as separa.

Vale-se ressaltar que a capacitância C de um capacitor depende apenas de fatores geométricos e construtivos do capacitor e não da sua carga ou da diferença de potencial. Onde a capacitância C é uma medida de quanta carga Q tem de ser colocada sobre as placas (armaduras) para produzir uma certa diferença de potencial V entre elas (HALLIDAY, 2009).

Para a maioria dos capacitores 1 *farad* (F) é uma unidade muito grande para indicar a sua capacitância, por isso tornou-se conveniente a utilização de submúltiplos como o *microfarad* (μF) que vale $10^{-6}F$, o *nanofarad* (nF) que vale $10^{-9}F$ e o *picofarad* (pF) que vale $10^{-12}F$ (GUSSOW, 1997).

4.2.3 Procedimentos

De início pode-se calcular a área das formas de pizza, que representam as placas ou armaduras do capacitor de baixo custo, utilizando-se da seguinte fórmula matemática: $A = \pi r^2$. A placa maior possui raio de $17,25\text{ cm}$, portanto sua área é: $A \approx 0,09\text{ m}^2$. O mesmo procedimento deverá ser adotado para a forma menor, que possui raio de 15 cm e $A \approx 0,07\text{ m}^2$ quando no momento de sua utilização.

Agora utilizando-se de um gabarito que contém as medidas das distâncias entre as placas, previamente calibradas em 3 mm e 5 mm , poderemos aproximar as placas uma da outra com uma maior precisão.

O multímetro utilizado deverá possuir uma escala de calibração que permita medir capacitâncias da ordem de *picofarads* (pF) até *microfarads* (μF). Valendo-se ressaltar para efeito de curiosidade que o multímetro aplica entre as placas do capacitor uma tensão corrente contínua de aproximadamente 9 Volts.

4.2.4 Análise de dados

Para a placa maior de raio $17,25\text{ cm}$ e de área aproximada de $0,09\text{ m}^2$, utilizando a equação que determina a capacitância de um capacitor de placas paralelas (2.8), e uma distância d entre as placas de 3 mm , encontramos um valor teórico pra capacitância de: $0,276\text{ nF}$. Aumentando a distância d entre as placas para 5 mm , temos uma capacitância de $0,166\text{ nF}$.

Realizando a medida experimental com o multímetro, selecionado em uma escala da ordem de *nanofarads*, obtemos uma medida de: $0,316\text{ nF}$ para a distância d entre as placas de 3 mm (ver Figura 18a) e $0,196\text{ nF}$ para a distância d de 5 mm (ver Figura 18b). Haja vista se tratar de um capacitor real, as imprecisões das medidas podem ser explicadas pelos: efeitos de borda do campo elétrico e o não alinhamento perfeito entre as placas, ocorrendo assim a variação da distância d entre elas.

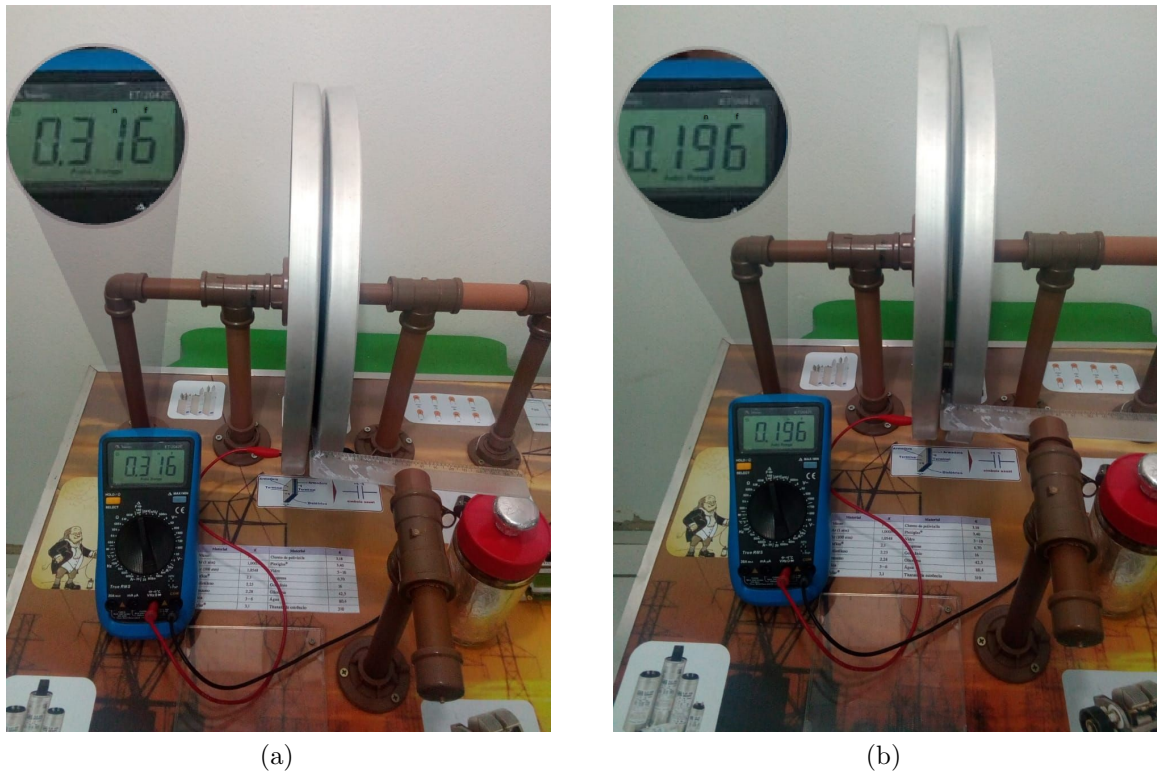


Figura 18 – Representação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,09 \text{ m}^2$. (a) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 3 mm . (b) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 5 mm . Fonte: Autoria própria.

Variando a área das placas, insere-se a forma de *pizza* de raio 15 cm e área aproximada das placas de $0,07 \text{ m}^2$. Calculando-se primeiro o valor teórico, pela equação (2.8) encontramos: $C = 0,207 \text{ nF}$ para uma distância d entre as placas de 3 mm e $C = 0,124 \text{ nF}$ para d igual a 5 mm . Posteriormente realiza-se as medidas na prática com o multímetro na escala de *nanofarads*, considerando as duas mesmas distâncias. Para $d = 3 \text{ mm}$ a Figura 19a mostra $C = 0,240 \text{ nF}$ e considerando $d = 5 \text{ mm}$, temos pela Figura 19b uma capacitância de $0,163 \text{ nF}$.

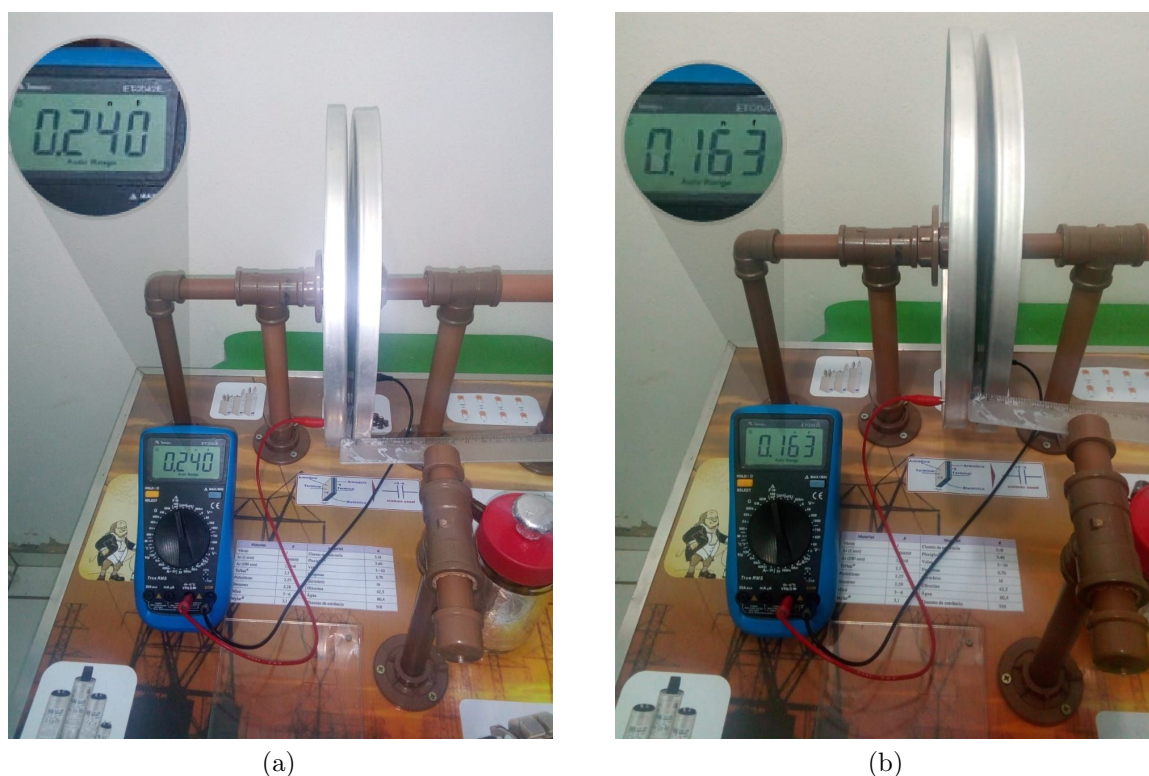


Figura 19 – Representação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,07 \text{ m}^2$. (a) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 3 mm . (b) Medida obtida com o multímetro para uma distância d entre as placas de 5 mm . Fonte: Autoria própria.

4.3 Experimento 3: Medida da capacitância de um capacitor de placas paralelas, utilizando como dielétrico entre as placas isopor e papelão

4.3.1 Objetivos

Neste experimento pretende-se: medir a capacitância de um capacitor de placas paralelas, agora com a existência de um material dielétrico inserido entre suas placas; reconhecer que a característica do dielétrico modifica a capacidade de armazenamento de energia; comparar as medidas encontradas, com e sem dielétrico entre as placas para uma mesma distância d , percebendo que a capacitância é alterada.

Os materiais necessários serão os mesmos do experimento 4.2 constantes na Tabela 3, com o acréscimo dos materiais isolantes (dielétricos) que serão inseridos entre as placas do capacitor, conforme mostra a Tabela 4.

Tabela 4 – Materiais dielétricos que serão inseridos entre as placas do protótipo capacitor de placas paralelas.

Quantidade	Descrição do material e unidades de medida
1	Folha de papelão de $\approx 3\text{ mm}$ de espessura
1	Folha de isopor de $\approx 6\text{ mm}$ de espessura

4.3.2 Fundamentação teórica

A característica do material isolante que descreve a sua capacidade de armazenar energia elétrica é denominada constante dielétrica, representada pela letra K (GUSSOW, 1997). Recomenda-se a leitura da seção 2.6.

Cavendish em 1773 e Faraday em 1837, em pesquisas independentes, descobriram que a capacitância de um capacitor aumenta quando se coloca um material isolante entre suas placas. E caso esse espaço esteja completamente preenchido pelo isolante, a capacitância aumenta por um fator K , que só irá depender da natureza do material isolante e não da forma ou do tipo de capacitor (NUSSENZVEIG, 1997). A constante de proporcionalidade ϵ_0 é denominada permissividade do meio isolante colocado entre as armaduras, no vácuo essa constante vale $8,85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$.

Sendo assim qualquer outro isolante (dielétrico) que seja utilizado, tem permissividade maior que a do vácuo, logo a introdução de um material isolante entre as placas de um capacitor sempre aumenta a capacitância do mesmo (PENTEADO; TORRES, 2005). E se tratando do ar o dielétrico em questão, a constante dielétrica K possui valor 1,00054, que é aproximadamente 1 e pode ser igualada a constante dielétrica no vácuo, para fins de realização dos cálculos das devidas capacitâncias.

4.3.3 Procedimentos

Nesse experimento deverão ser consideradas as placas de raio igual a $17,25\text{ cm}$, cuja área é $\approx 0,09\text{ m}^2$ e a distância entre elas será determinada pelas espessuras dos próprios dielétricos inseridos, sendo de: $\approx 3\text{ mm}$ para o papelão e $\approx 6\text{ mm}$ para o isopor.

Realiza-se uma medida, considerando-se apenas ar entre as placas e uma distância d de $\approx 3\text{ mm}$, encontrando-se $C = 0,275\text{ nF}$, como mostra a Figura 20a. Inserindo o papelão (dielétrico) de $\approx 3\text{ mm}$, tem-se pela Figura 20b uma capacitância medida de

0,560 nF.

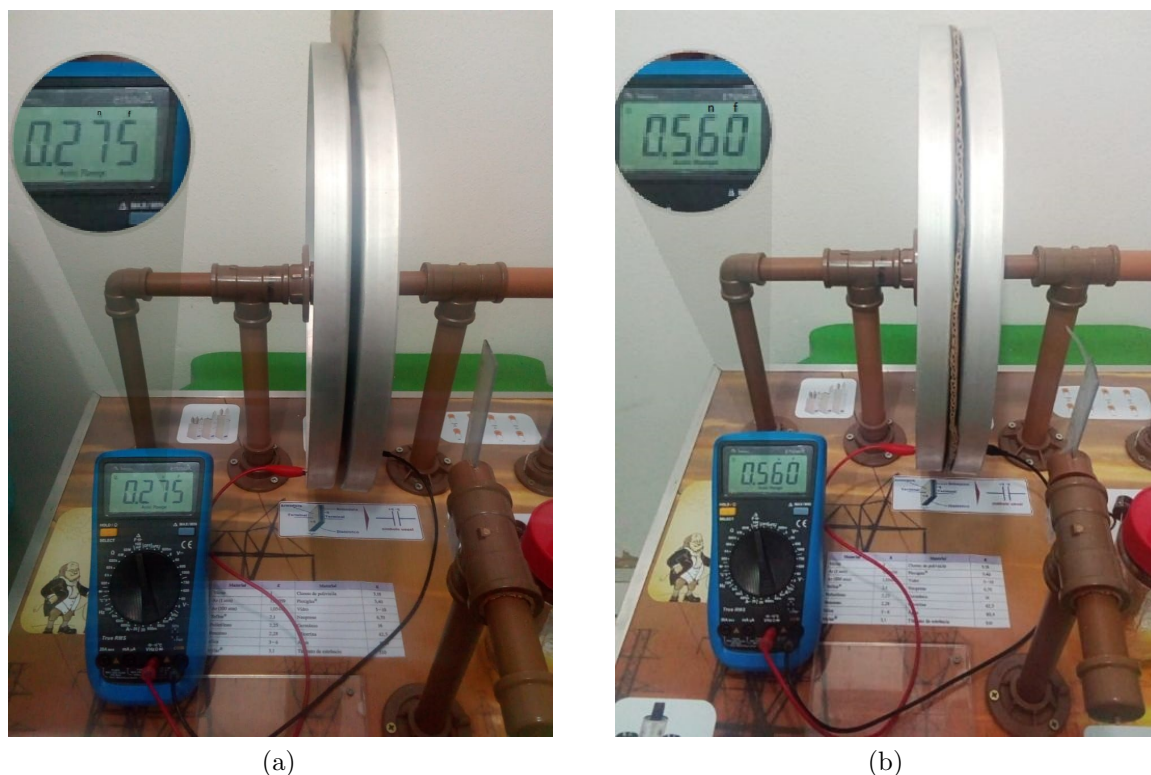


Figura 20 – Comparação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,09 \text{ m}^2$. (a) Medida obtida com apenas ar entre as placas. (b) Medida obtida após a inserção do (dielétrico) papelão. Fonte: Autoria própria.

Procedimento análogo é feito pro outro dielétrico (isopor). A Figura 21a mostra a capacitância medida de 0,171 nF, considerando a distância $d \approx 6 \text{ mm}$ e ar entre as placas e a Figura 21b mostra a capacitância de 0,175 nF, obtida após a inserção do isopor entre as placas ou armaduras do capacitor.

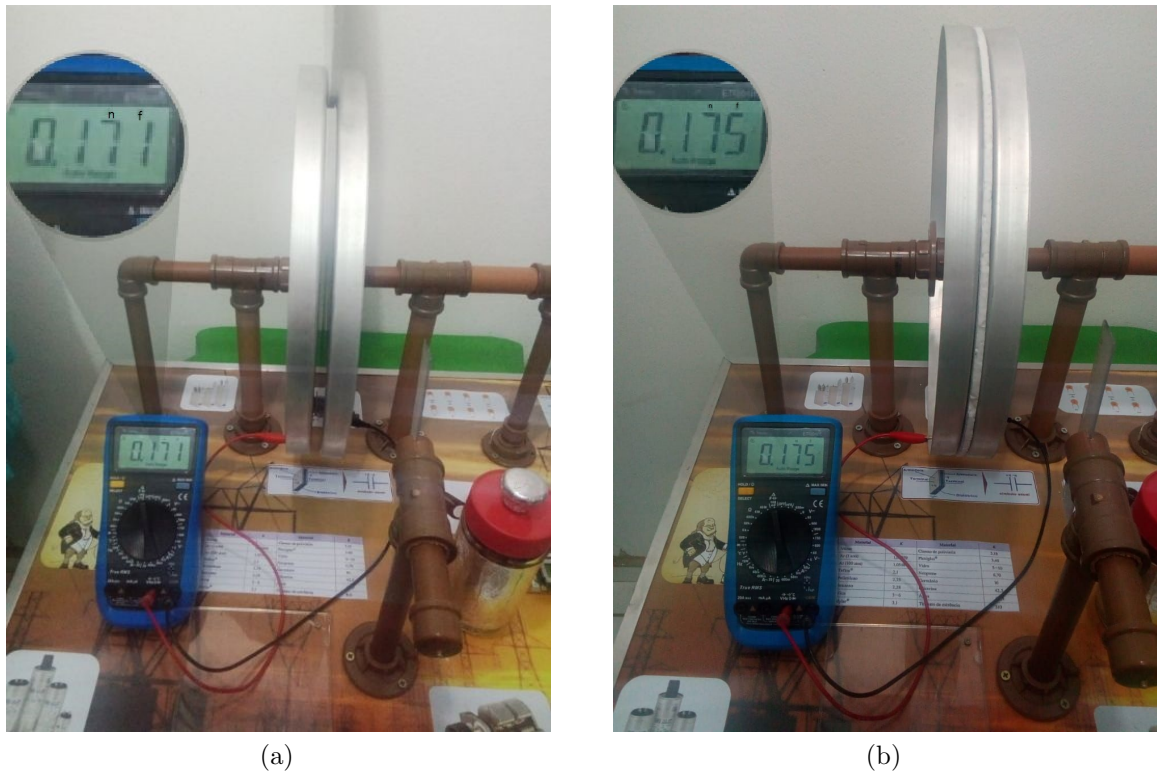


Figura 21 – Comparação das medidas experimentais para o protótipo capacitor de área $\approx 0,09 \text{ m}^2$. (a) Medida obtida com apenas ar entre as placas. (b) Medida obtida após a inserção do (dielétrico) isopor. Fonte: Autoria própria.

4.3.4 Análise de dados

Após a inserção dos materiais dielétricos a capacitância foi alterada. A inserção do papelão entre as placas do protótipo capacitor, fez com que a capacitância aumentasse significativamente, mostrando que esse material isolante possui uma constante dielétrica K de valor considerável. Já quando da inserção do isopor a capacitância foi alterada, porém, em um valor relativamente pequeno, mostrando que esse material isolante (dielétrico) possui uma constante dielétrica K pequena.

4.4 Experimento 4: Realização de medidas com o multímetro de associações série e paralelo de capacitores

4.4.1 Objetivos

Neste experimento pretende-se: calcular o valor teórico da capacitância equivalente C_{eq} de n capacitores associados em série e paralelo; verificar com o multímetro as medidas obtidas dos mesmos circuitos montados para as associações.

A Tabela 5, contém a descrição dos materiais que serão utilizados nas associações série e paralelo.

Tabela 5 – Materiais utilizados nas associações série e paralelo de capacitores.

Quantidade	Descrição do material e unidades de medida
1	<i>Protoboard</i>
“n”	Capacitores de capacitâncias distintas, disponibilizados no <i>kit</i> ou retirado de sucatas eletrônicas
1	Multímetro digital com escala adequada para medir capacitâncias

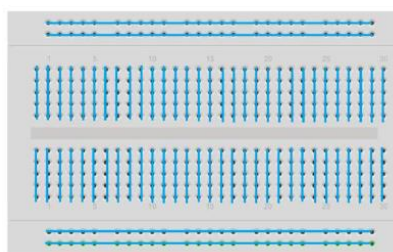


Figura 22 – *Protoboard* e a representação da continuidade de seus grupos de barramentos.
Fonte: (SILÍCIO, 2018).

4.4.2 Fundamentação teórica

Rever as subseções: 2.5.1 e 2.5.2, nas quais consta toda a fundamentação teórica adequada ao cálculo das associações série e paralelo de capacitores.

4.4.3 Procedimentos

Escolher “ n ” capacitores escolhidos aleatoriamente e medir todos individualmente, caso não seja possível verificar no corpo do dispositivo sua capacitância.

Após conhecidas as capacitâncias dos “ n ” capacitores, (aconselhável um número de três componentes). Colocá-los na *protoboard*¹ conectados em paralelo, obedecendo o diagrama da Figura 9. A Figura 23, traz uma sugestão de arranjo dos capacitores na *protoboard* de uma forma mais didática, onde a esquerda os capacitores estão associados em paralelo e a direita, em série.

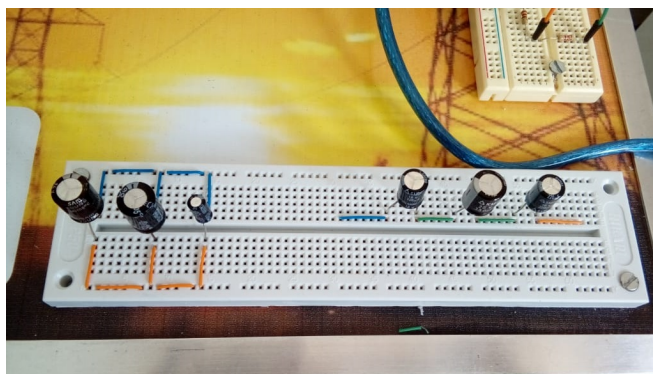


Figura 23 – Arranjo de capacitores em série e paralelo. Fonte: Autoria própria.

Realizar os calculos teóricos, utilizando a equação (2.28) e após isso realizar as medidas com o multímetro e compará-las.

Utilizando os mesmos componentes, conectá-los em série na *protoboard*, obedecendo o diagrama da Figura 10. Após isso realizar os calculos teóricos, utilizando a equação: (2.31) e em seguida realizar medidas com o multímetro e compará-las com as teóricas.

4.4.4 Análise de dados

Os capacitores, assim como outros componentes eletrônicos, são fabricados em certas faixas de tolerâncias de acordo com o fabricante do componente. A tolerância indica que a capacitância real do componente, pode estar situada dentro de um intervalo em termos percentuais de por exemplo: $\pm 3\%$, $\pm 5\%$, etc. Ou seja, a medida real aceitável do capacitor estará definida dentro desse intervalo, assumindo um valor para mais ou para menos, em termos percentuais, do indicado no corpo do componente.

Esse fato deverá ser levado em consideração, caso as medidas experimentais sejam distintas das teóricas. Para solucionar esse problema, basta medir cada capacitor indivi-

¹ Dispositivo muito utilizado em eletrônica, para teste de circuitos sem a necessidade de solda, possui geralmente dois barramentos de contatos paralelos ao comprimento, os quais podem ser utilizados para alimentar com tensão de entrada. Possuindo no centro, grupos de barramentos perpendiculares com um espaçamento no meio, para facilitar os encaixes dos componentes. Ver Figura 22.

dualmente e considerando-se o valor real medido na realização dos cálculos teóricos das associações.

Após isso verifica-se que as medidas experimentais da capacitância equivalente (C_{eq}) das associações série e paralelo obtidas, considerando-se um número “n” de capacitores, serão bem próximas das calculadas.

4.5 Experimento 5: Medida da capacitância de um capacitor variável

4.5.1 Objetivos

Neste experimento pretende-se: verificar com o multímetro as variações nos valores de capacitâncias à medida que o mecanismo do capacitor variável é movimentado; observar que a variação da capacitância se dá por meio do incremento ou decremento da área das placas, que acontece quando o mecanismo do capacitor variável é movimentado; reconhecer que a inserção do fluido isolante (água destilada), vai alterar a capacitância do capacitor de placas variáveis.

A Tabela 6, contém a descrição dos materiais necessários às realizações das medidas em um capacitor variável.

Tabela 6 – Materiais utilizados no experimento 4.5.

Quantidade	Descrição do material e unidades de medida
1	Capacitor variável
1/2	(meio) Litro de água destilada
1	Multímetro digital com escala adequada para medir capacitâncias de pico a microfarads
1	Recipiente de plástico com tampa com dimensões adequadas ao acondicionamento do capacitor variável

4.5.2 Fundamentação teórica

Os capacitores variáveis são muito utilizados em circuitos que necessitam de um ajuste fino nos valores de capacitância, como por exemplo em circuitos de sintonização de transmissores e receptores de rádio e televisão (HALLIDAY, 2009).

Ao inserir um material isolante (dielétrico) entre as placas de um capacitor, a capacitância do mesmo é aumentada de um fator K . Isso também se aplica a um fluido que possua características isolantes. Dessa forma a equação (2.8) será modificada:

$$C = \frac{K \varepsilon_0 A}{d} \quad (4.1)$$

Pra efeito de informação, a água destilada em uma temperatura de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ possui uma constante dielétrica K de $\approx 80,4$ (NUSSENZVEIG, 1997).

4.5.3 Procedimentos

Conecta-se o multímetro aos terminais do capacitor de placas variáveis. Em seguida movimenta-se o mecanismo que possibilita a variação da área das placas que o compõe, alterando os valores de capacitância medidos. .

De posse do maior valor de capacitância obtida C , pode-se inserir um fluido que possua características isolantes, como: água destilada, óleo de transformador, etc.

Em seguida acrescenta-se água destilada ao recipiente de plástico no qual o capacitor está acondicionado, de forma que o capacitor de placas variáveis fique totalmente submerso, realizando-se as medidas com o multímetro.

4.5.4 Análise de dados

A Figura 24a mostra uma medida de capacitância de ≈ 0 realizada com o mecanismo do capacitor aberto. A Figura 24b nos informa a medida da maior capacitância obtida de $0,248\text{ nF}$, tendo como dielétrico apenas ar entre as placas.

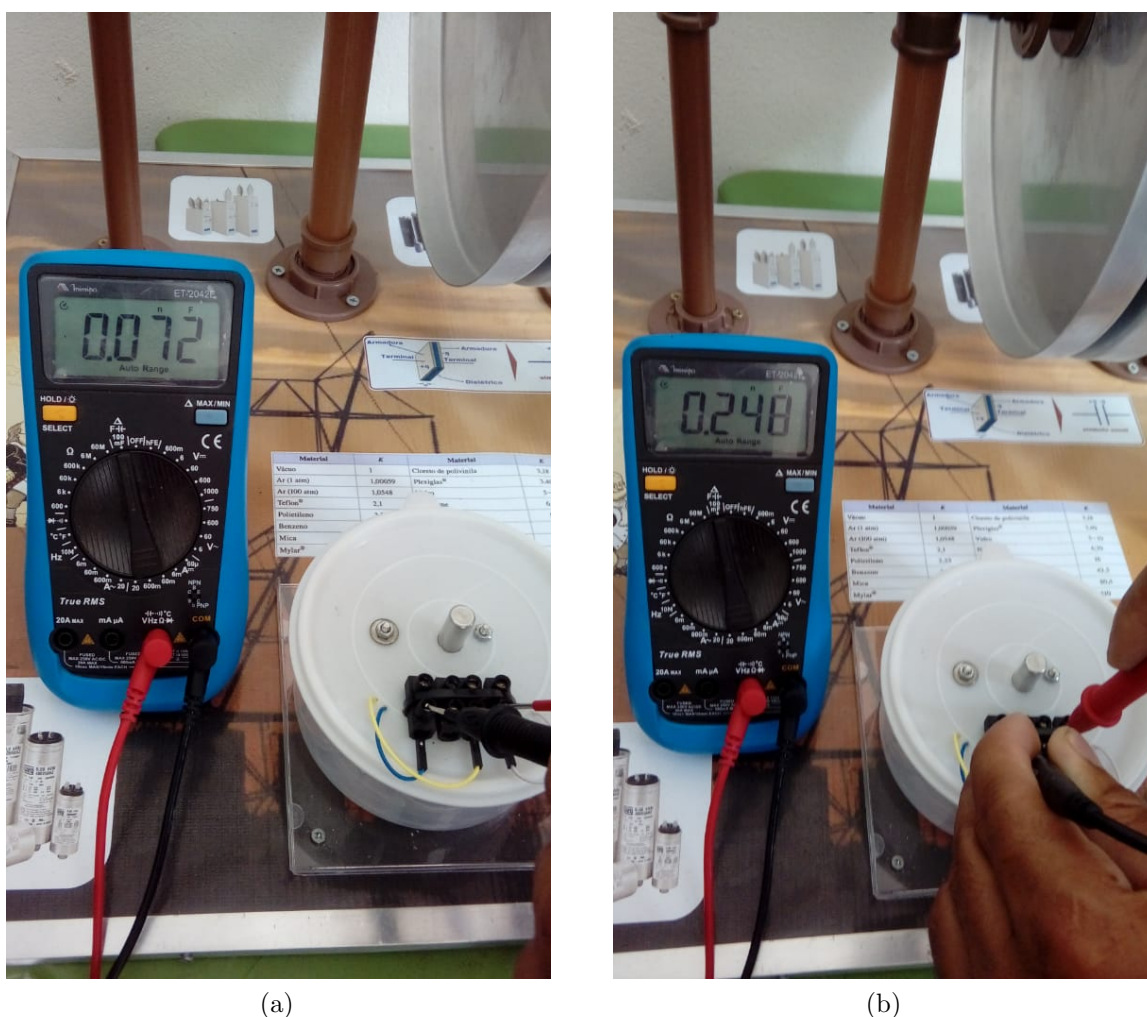


Figura 24 – Capacitor de placas variáveis. (a) Mínimo valor de capacitância obtida com o mecanismo completamente aberto. (b) Máximo valor de capacitância obtida com o mecanismo do capacitor completamente fechado. Fonte: Autoria própria.

Após a inserção de água destilada no recipiente que acomoda o capacitor de placas variáveis como mostra a Figura 25a e realizando-se posteriormente uma medida com o multímetro encontramos um valor de $128,8 \mu F$ de acordo com a Figura 25b.

A comparação entre as medidas demonstra o aumento da capacitância após a inserção do dielétrico.

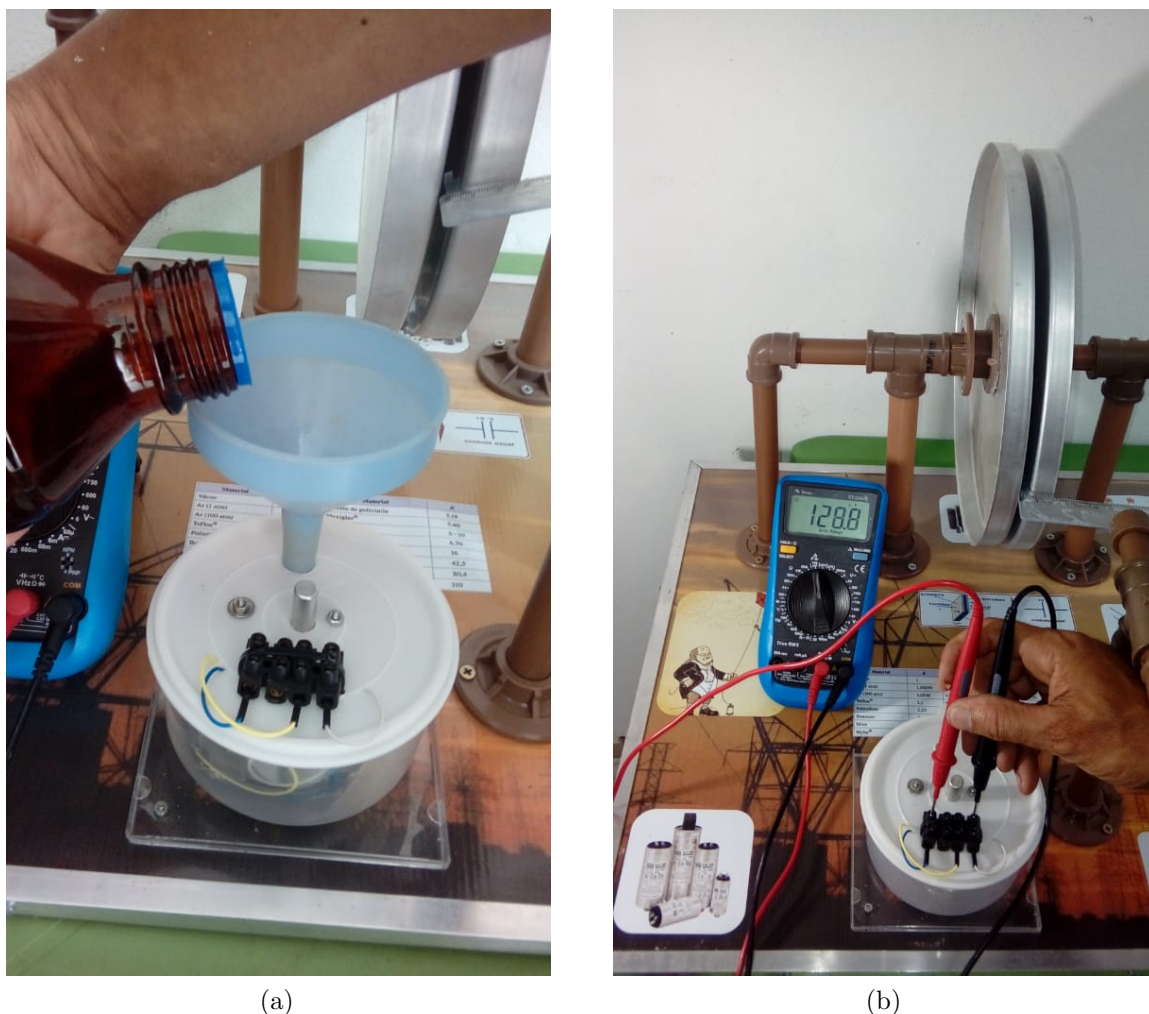


Figura 25 – Capacitor de placas variáveis. (a) Inserção de água destilada (dielétrico) no recipiente. (b) Medida realizada após a imersão do capacitor de placas variáveis na água destilada. Fonte: Autoria própria.

4.6 Experimento 6: Construção de um capacímetro digital com Arduino

4.6.1 Objetivos

Neste experimento pretende-se: construir um capacímetro digital utilizando-se da plataforma Arduino, capaz de medir capacitâncias compreendidas entre 500 nF e $1000\text{ }\mu\text{F}$.

A Tabela 7, contém a descrição dos materiais necessários à confecção do capacímetro Arduino digital.

Tabela 7 – Materiais utilizados na construção do capacímetro Arduino digital.

Quantidade	Descrição do material e unidades de medida
1	Arduino Uno
1	Bateria de 9 <i>Volts</i> (DC)
1	Resistor de carga de 2200 Ω
1	Resistor de descarga de 220 Ω
1	LCD (<i>Liquid Crystal Display</i>)
1	<i>Protoboard</i> para facilitar as conexões

4.6.2 Fundamentação teórica

Este trabalho, não consiste em conhecer a fundo todas as funcionalidades do Arduino, mais somente o básico para a construção do protótipo medidor de capacitâncias proposto e para tanto faz-se necessário a leitura do capítulo 3 deste trabalho. Caso o leitor se sinta atraído a desenvolver outros projetos com o Arduino, existe uma vasta gama de material e exemplos de projetos disponíveis, haja vista o Arduino ser desenvolvido e melhorado continuamente por se tratar de um sistema de código livre.

A alimentação externa deste protótipo será realizada por uma bateria de 9 *Volts* (DC)².

4.6.3 Procedimentos

Este tópico será destinado a explicação do código fonte do capacímetro Arduino digital. No capítulo 3, foi explicado como instalar o *IDE* do Arduino no sistema operacional *Windows*, no entanto é preciso que se realize um teste para verificar o correto funcionamento do Arduino antes de avançar para o projeto em si. Clica-se em menu *File* do Arduino, depois em *Examples* e logo em seguida em *0.1Basics* e por fim em *Blink*. Depois disso escolhe-se a placa Arduino utilizada em *Tools > Board* (MCROBERTS, 2015). Neste projeto, será utilizada uma placa Arduino Uno.

² Caso não queira utilizar-se da fonte externa de alimentação, o mesmo deverá ser alimentado diretamente pela entrada *USB* do *notebook* ou *PC*.

Após ter carregado o *sketch Blink* no *IDE* do Arduino, clique em *Upload* e verifique que o *IDE* vai mostrar a mensagem: “*Compiling sketch*” (Compilando *Sketch*), que em seguida mudará para: “*Uploading*” e farão com que as luzes dos *LEDs TX/RX*, comecem a piscar indicando transmissão e recepção de dados. Quando o *Uploading* for concluído aparecerá a mensagem “*Done uploading*” (*Upload* completo) e em seguida, o *LED* laranja do pino 13 começará a piscar em intervalos regulares de 1 segundo, indicando que os procedimentos de instalação e comunicação entre *software* e *hardware* foram executados com sucesso (MCROBERTS, 2015).

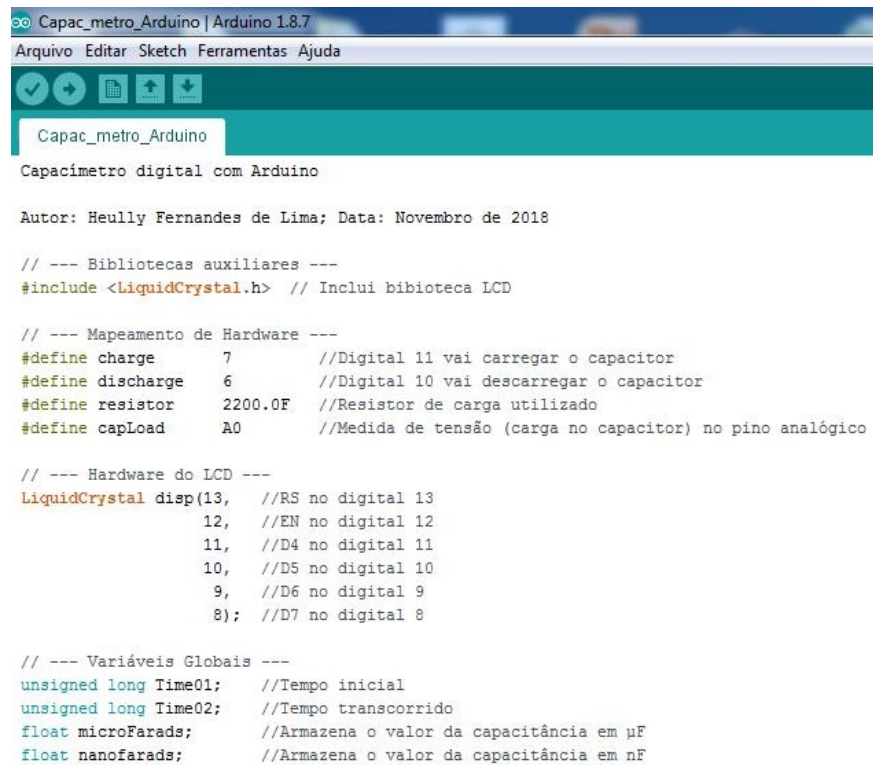
A Figura 26 mostra o início do projeto capacímetro digital Arduino. Onde primeiramente deve-se proceder a inclusão da *biblioteca*, que possibilitará a utilização do monitor *LCD*³ e definição dos pinos de funções do mesmo, do *mapeamento de hardware*, que definirá os pinos aos quais estarão conectados os componentes eletrônicos utilizados e suas respectivas funções dentro do código, e da declaração das *variáveis globais*⁴.

No *Mapeamento de Hardware* (ver Figura 26). O comando *#define*, define os pinos que serão responsáveis pela carga, descarga, conexão do resistor de carga e medida de tensão no pino analógico *A0*. A Figura 27, mostra o diagrama elétrico da conexão desses componentes eletrônicos e suas respectivas especificações.

Vale ressaltar que o comando *#define resistor 2200.0F*, o *0F* após o $2200\ \Omega$ significa se tratar de um ponto flutuante e que essa constante pode ser alterada. Ou seja, utilizar-se de outro resistor de carga e alterar o valor de $2200\ \Omega$ para o valor do novo resistor utilizado, bastando somente que o mesmo seja da ordem de $K\ \Omega$.

³ São telas embarcadas encontradas em quase todos os tipos de eletrônicos de consumo e nos permite visualizar de maneira primária os dados eletrônicos. Existem vários tipos de monitores *LCD*, sendo os serial e paralelo os mais utilizados em projetos com o Arduino, esses visores de caracteres são ideais para mostrar alguns tipos de textos para o usuário e até mesmo pequenas formas ou ícones (usualmente de $5 \times 7\ pixels$) (MCROBERTS, 2015).

⁴ Uma variável global pode ser utilizada por qualquer função no programa, ela deve ser declarada fora de qualquer função do programa antes da função *setup()* (SOUSA, 2013).



```

Capacmetro_Arduino | Arduino 1.8.7
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda

Capacmetro_Arduino
Capacimetro digital com Arduino

Autor: Heully Fernandes de Lima; Data: Novembro de 2018

// --- Bibliotecas auxiliares ---
#include <LiquidCrystal.h> // Inclui biblioteca LCD

// --- Mapeamento de Hardware ---
#define charge      7      //Digital 11 vai carregar o capacitor
#define discharge   6      //Digital 10 vai descarregar o capacitor
#define resistor     2200.0F //Resistor de carga utilizado
#define capLoad      A0    //Medida de tensão (carga no capacitor) no pino analógico

// --- Hardware do LCD ---
LiquidCrystal disp(13, //RS no digital 13
                  12,  //EN no digital 12
                  11,  //D4 no digital 11
                  10,  //D5 no digital 10
                  9,   //D6 no digital 9
                  8);  //D7 no digital 8

// --- Variáveis Globais ---
unsigned long Time01; //Tempo inicial
unsigned long Time02; //Tempo transcorrido
float microFarads;    //Armazena o valor da capacitância em µF
float nanofarads;     //Armazena o valor da capacitância em nF

```

Figura 26 – Ilustração da *IDE* do Arduino contendo: bibliotecas auxiliares, mapeamento de *hardware*, *hardware* do *LCD* e variáveis globais. Fonte: Autoria própria.

A Figura 27 mostra o diagrama elétrico do microcontrolador do Arduino Uno o *ATmega328*, do *LCD*, do resistor de carga de $2200\ \Omega$, do resistor de descarga de $220\ \Omega$ e do capacitor que se deseja medir (no caso do diagrama é um de $10\ \mu F$, que pode ser substituído por qualquer outro valor desconhecido que esteja compreendido na faixa de medição do capacímetro, que vai de $500\ nF$ até $1000\ \mu F$).

Note que a determinação dos pinos do *LCD* que constam no código (*Hardware do LCD*), ver Figura 26, são representados no diagrama elétrico do monitor *LCD*, como mostra a Figura 27.

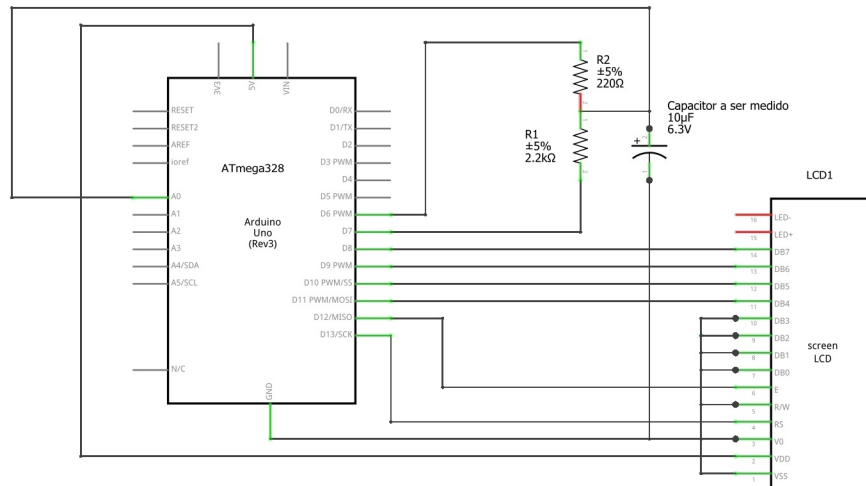


Figura 27 – Diagrama elétrico do capacitômetro digital construído no *Fritzing*. Fonte: Autoria própria.

A Figura 28 mostra como os componentes deverão ser interconectados na *protoboard*.

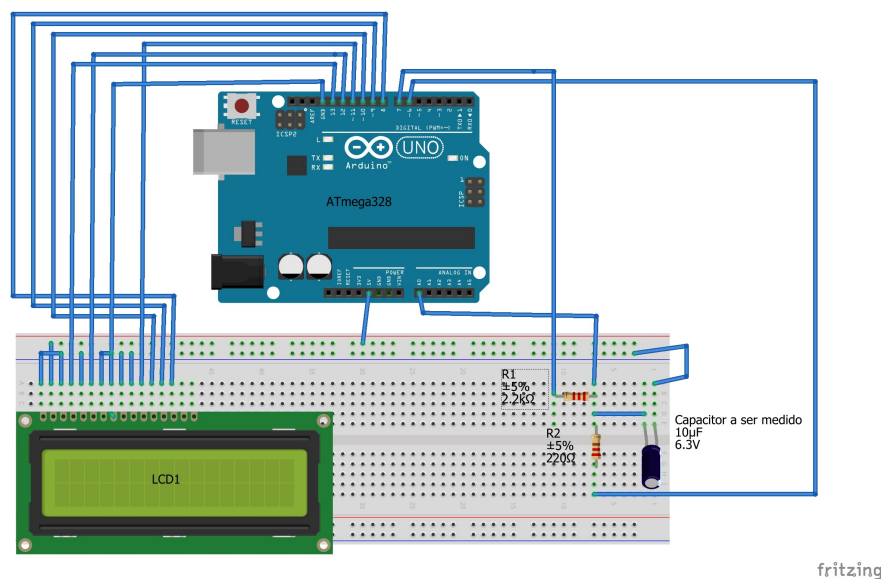


Figura 28 – Ilustração das interconexões elétricas do projeto construído no *Fritzing*. Fonte: Autoria própria.

Na função `void setup()`⁵, configura-se o pino de carga, porta digital 7 como saída e logo em seguida, inicia-se a carga do capacitor. Dentro do `void setup`, inicializa-se também o monitor *LCD* como mostra a Figura 29.

⁵ Consiste na preparação ou configuração do Arduino antes que você comece a trabalhar com ele. Esta configuração está contida dentro de uma rotina de inicialização ou função adequadamente chamada *setup*. Coisas típicas que você deve fazer no *setup* incluem a inicialização dos pinos digitais, definindo-os como *INPUT* (entrada) ou *OUTPUT* (saída) (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

```
// --- Configurações iniciais ---  
void setup() {  
  pinMode(charge, OUTPUT);    //Configura pino de carga como saída digital  
  
  digitalWrite(charge, LOW);  //inicializa pino de carga  
  
  disp.begin(16, 2);          //Display LCD 16 X 2  
  disp.setCursor(2,0);        //Posiciona cursor na coluna 3, linha 1  
  disp.print("Capacimetro");  //Escreve no display  
  // put your setup code here, to run once:  
}  
//End setup
```

Figura 29 – Ilustração da *IDE* do Arduino contendo: a continuação do código a partir da função *void setup()* e seus respectivos comentários. Fonte: Autoria própria.

A Figura 30, mostra a continuação do código a partir da função *void loop()*⁶. As explicações de cada comando estão colocadas sobre a forma de comentários para facilitar a compreensão.

A função *while(analogRead(capLoad) < 648)* (ver Figura 30), significa que o Arduino irá aguardar o capacitor alcançar $\approx 63,2\%$ da tensão nominal fornecida pela placa, que é de 5 *Volts*. Esse calculo é baseado na capacidade de processamento do microcontrolador ATmega 328 de 1024 bits, que utiliza-se da seguinte lógica para realizar a medida: se 1024 *bits* equivale a 100%, *X* bits equivale a 63,2%. Encontra-se *X* bits ≈ 648 .

⁶ O *loop* infinito consiste na principal função do programa, sendo executada continuamente enquanto o Arduino estiver ligado. Todas as instruções dentro da função *loop()* são executadas uma por uma, passo a passo, até que se alcance o fim da função. Depois disso o Arduino reinicia o *loop()* desde o princípio e assim infinitamente ou até que seja desligado ou tenha seu botão de *reset* pressionado (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

```

void loop() {
  digitalWrite(charge, HIGH); //Saída de carga em nível alto (carrega o capacitor)
  Time01 = millis();          //Armazena a contagem do programa em milisegundos

  while(analogRead(capLoad) < 648){} //Aguarda até atingir 63,2% da tensão da fonte de alimentação

  Time02 = millis() - Time01;      //Calcula o tempo transcorrido

  microfarads = (float)Time02 / resistor) * 1000; //Calcula a capacitância em microfarads

  if(microFarads > 1)               //Capacitância maior que 1 microfarad?
  {                                 //Sim

    disp.setCursor(5,1);           //Posiciona cursor na coluna 6 linha 2
    disp.print((long)microFarads); //Imprime valor atual da capacitância em µF
    disp.print("uF");              //Imprime "uF"

  }                                 //End if

  else                             //Senão
  {

    nanoFarads = microFarads * 1000.0; //Converte µF para nF

    disp.setCursor(5,1);           //Posiciona cursor na coluna 6 linha 2
    disp.print((long)nanoFarads);  //Imprime valor atual da capacitância em nF
    disp.print("nF");              //Imprime "nF"

  }                                 //End else
}

```

Figura 30 – Ilustração da IDE do Arduino contendo: a continuação do código a partir da função *void loop()* e seus respectivos comentários. Fonte: Autoria própria.

O tempo em milisegundos que o capacitor demora pra alcançar 63,2% da tensão nominal é obtido por meio do código: $Time02 = millis() - Time01$;

A capacitância C em *microfarads* é calculada pela equação (4.2), dividindo-se o tempo em milisegundos pelo valor do resistor em Ω . E essa lógica deriva diretamente da equação $\tau_c = RC$, onde τ_c é a constante de tempo capacitiva do circuito (HALLIDAY, 2009). Essa é a lógica utilizada pelo Arduino para realizar o calculo da capacitância de um capacitor qualquer (ver Figura 30).

$$C = \frac{\tau_c}{R} \rightarrow C \times 10^{-6} em F = \frac{Time02 \times 10^{-3} em segundos}{R em \Omega} \quad (4.2)$$

A Figura 31 mostra o encerramento da função *void loop()*, a partir de onde o Arduino irá atualizar a leitura e reiniciar a execução de todas as funções novamente e infinitamente, até que seja desligado ou tenha a tecla de *reset* pressionado.

```
digitalWrite(charge, LOW);           //Pino de carga fica em nível baixo
pinMode(discharge, OUTPUT);          //Pino de descarga configurado temporariamente como saída
digitalWrite(discharge, LOW);        //Pino de descarga em nível baixo descarrega o capacitor
while(analogRead(capLoad) > 0){}     //Aguarda até que a tensão no capacitor chegue a zero

pinMode(discharge, INPUT);           //Pino de descarga volta a ser entrada

delay(300);                          //Atualização das leituras

}                                     //End loop
```

Figura 31 – Ilustração da *IDE* do Arduino contendo: o encerramento do código da função *void loop()* e seus respectivos comentários. Fonte: Autoria própria.

4.6.4 Análise de dados

O capacitmetro Arduino digital, mostrou-se bastante eficaz na realização das medidas das capacitâncias cujos valores encontram-se compreendidos em sua faixa de medição, que é de 500 nF até $1000\text{ }\mu\text{F}$.

Contudo as medidas obtidas tiveram uma variação sempre para um valor acima do valor real do componente. A Figura 32a mostra o capacitor ligado, porém sem um componente de teste inserido. As Figuras: 32b, 32c, 32d mostram as medidas obtidas de $109\text{ }\mu\text{F}$, $244\text{ }\mu\text{F}$ e $1135\text{ }\mu\text{F}$ para capacitores de $100\text{ }\mu\text{F}$, $220\text{ }\mu\text{F}$ e $1000\text{ }\mu\text{F}$, respectivamente. A variação da medida obtida justifica-se pela dificuldade em encontrar resistores de precisão para os processos de carga e descarga do capacitor, pois os componentes são fabricados dentro de faixas de tolerâncias, que geralmente são de $\pm 5\%$ do valor do resistor.

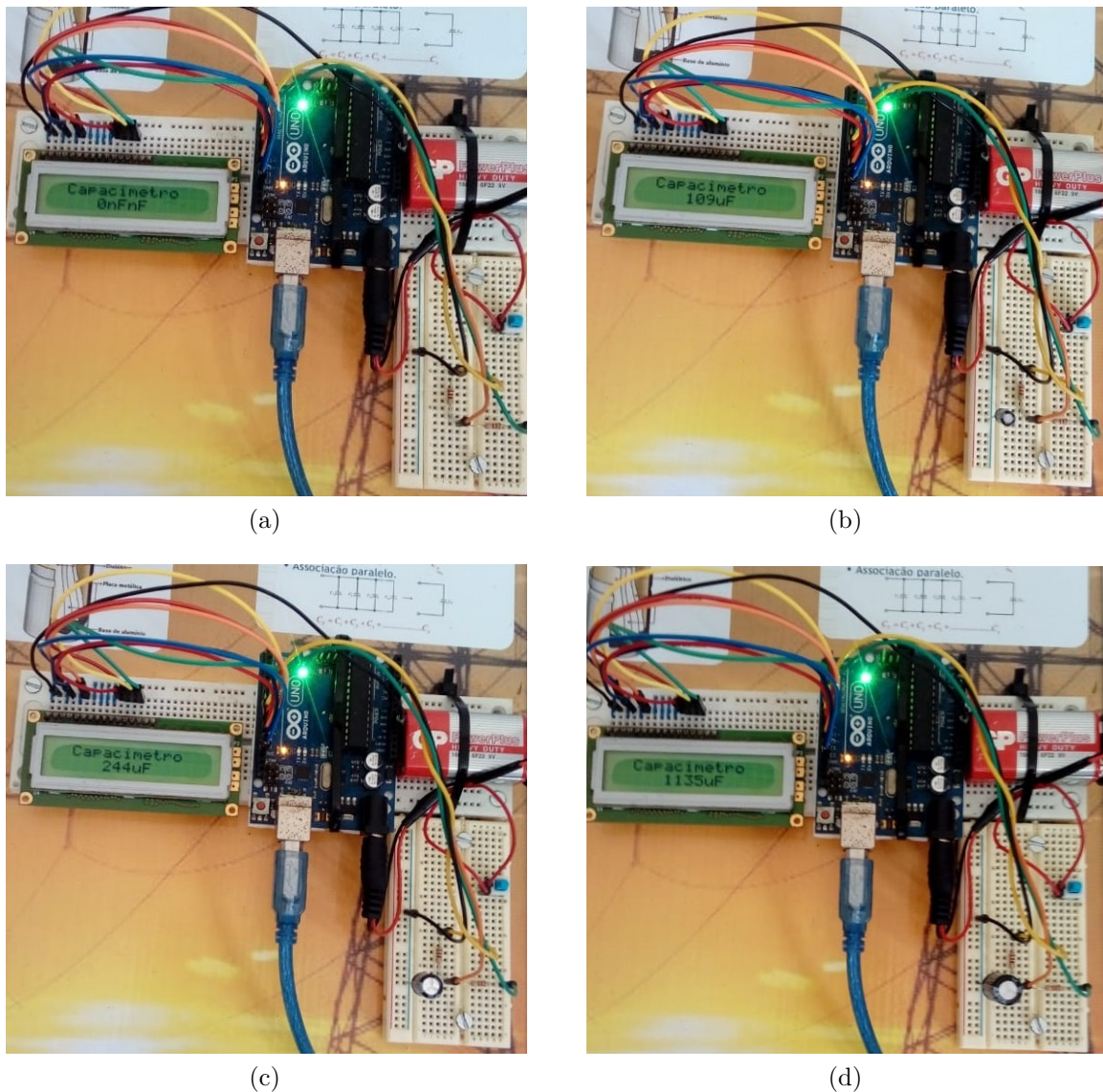


Figura 32 – Representação do capacímetro digital Arduino. (a) Capacímetro ligado e sem nenhum capacitor inserido. (b) Medida obtida ao inserir um capacitor eletrolítico de $100\ \mu F$. (c) Medida obtida ao inserir um capacitor eletrolítico de $220\ \mu F$. (d) Medida obtida ao inserir um capacitor eletrolítico de $1000\ \mu F$. Fonte: Autoria própria.

4.7 Resultados e análises

Os experimentos propostos, podem ser facilmente expandidos, com a inserção de novas práticas, como por exemplo: inserindo-se mais variações da distância d entre as placas, além das utilizadas em ambos os experimentos 4.2 e 4.3, que foram de $3\ mm$ e $5\ mm$. Calculando-se os valores teóricos dessas novas situações e comparando com as medidas obtidas experimentalmente.

Outra prática adotada, poderia ser a inserção de outros tipos de isolantes (dielétricos), além de papelão e isopor utilizados no experimento 4.3, como por exemplo: cartolina, papel, pano, etc.

Adição de outros fluídos ao experimento 4.5, que possuam características isolantes como óleo de transformador, de mamona, etc. Vale-se ressaltar que não é objetivo do experimento 4.5, encontrar a constante dielétrica K da água destilada, pois seria necessário que a mesma passasse por um exame minucioso de condutividade para comprovar sua pureza e o experimento ser realizado sob temperatura controlada. No entanto destina-se a mostrar na prática como a capacitância é alterada (após a inserção de um fluído dielétrico), para um valor bem acima do medido caso o dielétrico utilizado fosse o ar, por simples comparação entre os valores medidos.

O próprio projeto do capacímetro Arduino digital pode ser melhorado com a inserção de resistores de carga e descarga mais precisos, possibilitando ao protótipo a realização de medidas mais precisas. O código também pode ser melhorado, possibilitando ao protótipo medir capacitâncias compreendidas em uma escala bem mais ampla do que a demonstrada neste projeto.

5 Conclusão

Os experimentos não pretendem somente mostrar o fenômeno físico em si, como também desenvolver várias outras qualidades exigidas pela sociedade atual, formando um cidadão de visão crítica, comportamento criativo, imaginativo, que seja capaz de associar os conteúdos expostos com a contribuição que tem para as diversas áreas tecnológicas e acima de tudo promover a interdisciplinaridade, haja vista, que se vai trabalhar quase que concomitantemente com as diversas disciplinas associadas.

O conteúdo de capacitância no ensino médio além de reduzido é considerado abstrato e sem uma visualização prática de sua utilidade para o desenvolvimento tecnológico como um todo. Os capacitores são largamente utilizados na eletrônica em geral, em sistemas de distribuição de energia, nas indústrias para correção do fator de potência, em equipamentos médicos como os desfibriladores, etc. E este trabalho se propôs a tornar a explanação dos conteúdos relacionados aos capacitores mais atraente.

Contudo ressalta-se aqui o papel fundamental do docente que irá utilizar-se desse *kit* com a finalidade de tornar suas aulas mais atrativas e significativas, e nunca esquecendo o papel primordial que o mesmo possui para encaminhar e propor corretamente as atividades, pois caso os experimentos não sejam utilizados de maneira correta, podem não alcançar os objetivos propostos.

Referências

- CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E. Física com arduino para iniciantes. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, SciELO Brasil, v. 33, n. 4, p. 4503–4503, 2011.
- EVANS, M.; NOBLE, J.; HOCHENBAUM, J. *Arduino em ação*. São paulo: Novatec Editora Ltda, 2013.
- GRIFFITHS, D. J. *Eletrodinâmica*. 3. ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2011.
- GUSSOW, M. *Eletricidade básica*. 2. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1997.
- HALLIDAY, D. *Fundamentos de Física, Volume 3: Eletromagnetismo*. 8. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2009.
- MARKUS, O. *Circuitos elétricos: Corrente contínua e corrente alternada*. 1. ed. São Paulo: Editora Érica Ltda, 2001.
- MCROBERTS, M. *Arduino básico*. 2. ed. São Paulo: Novatec Editora Ltda, 2015.
- NUSSENZVEIG, H. M. *Curso de Física Básica*. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.
- PENTEADO, P. C. M.; TORRES, C. A. M. *Física ciência e tecnologia*. São Paulo: Editora Moderna, 2005.
- PIRES, A. S. T. *Evolução das ideias da Física*. 2. ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2008.
- REDONDO, D. M.; L., L. V. Conceitos básicos sobre capacitores e indutores. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 18, 1996.
- RENN, R. B. D. et al. *Introdução ao kit de desenvolvimento Arduino*. Rio de Janeiro: Universidade Federal Fluminense, 2013.
- RIBEIRO, R. J.; SILVA, S. d. C. R. d.; KOCIANSKY, A. Organizadores prévios para aprendizagem significativa em física: O formato de curta animação. *Revista ensaio*, v. 14, 2012.
- SÉRÉ, M.-G.; COELHO, S. M.; NUNES, A. D. O papel da experimentação no ensino da física. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, v. 20, n. 1, p. 30–42, 2003.
- SILÍCIO, E. V. d. *Apostila Arduino básico, vol. 1*. Espírito Santo: Disponível em: <<http://www.vidadesilicio.com.br>>, 2018.
- SILVA, S. d. C. R. d.; SCHIRLO, A. C. Teoria da aprendizagem significativa de ausubel: Reflexões para o ensino de física ante a nova realidade social. *Imagens da Educação*, v. 4, 2014.
- SOUSA, F. *Apostila Arduino, com aplicações baseada na placa: Arduino Uno*. São Paulo: Disponível em: <<http://www.fbseletronica.com.br>>, 2013.

TECNOLÓGICA, B. M. da Educação. Secretaria de Educação Média e. *Parâmetros curriculares nacionais-PCN: ensino médio: ciências da natureza e suas tecnologias*. Brasília- DF: MEC/SEMT, 2000.

VILAÇA, F. N. Revisão bibliográfica: A experimentação no ensino de física. *Universidade Federal de São João Del Rei*, 2012.

WILLIAN, D. C.; DAVID, J. R. *Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução*. 9. ed. Rio de Janeiro: Editora LTC, 2018.

Apêndices

APÊNDICE A – Código Arduino

(capacímetro digital)

```
// Capacímetro digital com Arduino

// Autor: Heully Fernandes de Lima; Data: Novembro de 2018

// - - - Bibliotecas auxiliares - - -

#include <LiquidCrystal.h>      // Inclui Biblioteca LCD

// - - - Mapeamento de Hardware - - -

#define charge 7                // Digital 11 vai carregar o capacitor
#define discharge 6             // Digital 10 vai descarregar o capacitor
#define resistor 2200.0F        // Resistor de carga utilizado
#define capLoad A0              // Medida de tensão (carga no capacitor) no pino
analógico

// - - - Hardware do LCD - - -

LiquidCrystal disp(13,          // RS no digital 13
                  12,           // EN no digital 12
                  11,           // D4 no digital 11
                  10,           // D5 no digital 10
                  9,            // D6 no digital 9
                  8);           // D7 no digital 8

// - - - Variáveis Globais - - -

unsigned long Time01;           // Tempo inicial
unsigned long Time02;           // Tempo transcorrido
float microfarads;              // Armazena o valor da capacitância em  $\mu F$ 
```

```
float nanofarads;           // Armazena o valor da capacitância em  $nF$ 

// - - - Configurações iniciais - - -

void setup() {

    pinMode(charge, OUTPUT);    // Configura pino de carga como saída digital

    digitalWrite(charge, LOW);  // Inicializa pino de carga

    disp.begin(16, 2);          // Display LCD  $16 \times 2$ 

    disp.setCursor(2, 0);       // Posiciona cursor na coluna 3 linha 1

    disp.print("Capacimetro");  // Escreve Capacimetro no display

}                               // Fim do setup

void loop() {

    digitalWrite(charge, HIGH); // Saída de carga em nível alto (carrega o
                                // capacitor)

    Time01 = millis();          // Armazena a contagem do programa em milissegundos

    while(analogRead(capLoad) < 648){} // Aguarda até atingir 63,2 % da
    tensão da fonte de alimentação

    Time02 = millis() - Time01;  // Calcula o tempo transcorrido

    microfarads = ((float)Time02 / Resistor) * 1000; // Calcula a capacitância
    em microfarads

    if(microfarads > 1)          // Capacitância maior que 1 microfarad

    {                             // Sim

        disp.setCursor(5, 1);    // Posiciona cursor na coluna 6 linha 1

        disp.print((long)microfarads); // Imprime valor atual da capacitância
    em  $\mu F$ 

        disp.print("uF");        // Imprime  $\mu F$ 

    }                             // Fim do if

    else                          // Senão

    {
```

```
nanofarads = microfarads * 1000.0;           // Converte  $\mu F$  para  $nF$ 

disp.setCursor(5, 1);           // Posiciona cursor na coluna 6 linha 2

disp.print((long)nanofarads);    // Imprime valor atual da capacitância em
nF

disp.print("nF");               // Imprime  $nF$ 
}                                // Fim do else

digitalWrite(charge, LOW);      // Pino de carga fica em nível baixo

pinMode(discharge, OUTPUT);    // Pino de descarga configurado tempo-
riamente como saída

digitalWrite(discharge, LOW);   // Pino de descarga em nível baixo
descarrega o capacitor

while(analogRead(capLoad) > 0) {} // Aguarda até que a tensão no capacitor
chegue a zero

pinMode(discharge, INPUT);      // Pino de descarga volta a ser entrada

delay(300);                     // Atualização das leituras

}                                // Fim do loop
```