



UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

ISRAEL PEIXOTO MORAES

**O USO DE SENSOR DE PRESENÇA CAPACITIVO PARA O ENSINO DE  
CAMPO ELÉTRICO**

MARABÁ – PA

2021

ISRAEL PEIXOTO MORAES

**O USO DE SENSOR DE PRESENÇA CAPACITIVO PARA O ENSINO DE  
CAMPO ELÉTRICO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação da Universidade Federal Do Sul e Sudeste do Pará – UNIFESSPA, no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Érico Raimundo Pereira de Novais

MARABÁ – PA

2021

SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL  
UNIVERSIDADE FEDERAL DO SUL E SUDESTE DO PARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS-ICE  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM FÍSICA  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**

Ata da apresentação e defesa de dissertação de Mestrado intitulada: “O USO DE SENSOR DE PRESENÇA CAPACITIVO PARA O ENSINO DE CAMPO ELÉTRICO”, para concessão do grau de Mestre em Ensino de Física, realizada às 15:00 horas do dia **07 de março de 2022**, de forma remota, via Google Meet, link da defesa: <https://meet.google.com/ivo-mdqn-qft>. A dissertação foi apresentada durante 50 minutos pelo mestrando: **ISRAEL PEIXOTO MORAES**, diante da banca examinadora aprovada pela Sociedade Brasileira de Física, assim constituída, membros: Prof. Dr. Erico Raimundo Pereira de Novais (Orientador/Presidente), Profa. Dra. Fernanda Carla Lima Ferreira (Membro Interno) e Prof. Dr. Orahcio Felício de Sousa (Membro Externo). Em seguida, o mestrando foi submetido à arguição, tendo demonstrado suficiência de conhecimento no tema objeto da dissertação, havendo à banca examinadora decidido pela **Aprovação** da dissertação. Para constar, foram lavrados os termos da presente ata, que lida e aprovada recebe a assinatura dos integrantes da banca examinadora e do mestrando.

---

Prof. Dr. Erico Raimundo Pereira de Novais  
(Unifesspa - Orientador/Presidente)

---

Profa. Dra. Fernanda Carla Lima Ferreira  
(Unifesspa - Membro Interno)

---



Prof. Dr. Orahcio Felício de Sousa  
(UFRB - Membro Externo)

ISRAEL PEIXOTO  
MORAES:28819408899

Assinado de forma digital por ISRAEL  
PEIXOTO MORAES:28819408899  
Dados: 2022.04.25 15:09:30 -03'00'

Israel Peixoto Moraes (Mestrando)



*Emitido em 07/03/2022*

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 23/2022 - PPGFIS (11.26.01)**

**(Nº do Protocolo: NÃO PROTOCOLADO)**

*(Assinado digitalmente em 04/05/2022 09:33 )*

**FERNANDA CARLA LIMA FERREIRA**

*PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR*

1871868

*(Assinado digitalmente em 25/04/2022 21:30 )*

**ERICO RAIMUNDO PEREIRA DE NOVAIS**

*PROFESSOR DO MAGISTÉRIO SUPERIOR*

2056111

Para verificar a autenticidade deste documento entre em <https://sipac.unifesspa.edu.br/documentos/> informando seu número: **23**, ano: **2022**, tipo: **ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO**, data de emissão: **25/04/2022** e o código de verificação: **1d2036426e**

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)**  
**Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará**  
**Biblioteca Setorial Campus do Tauarizinho**

---

M827u Moraes, Israel Peixoto  
O uso de sensor de presença capacitivo para o ensino de campo elétrico / Israel Peixoto Moraes. — 2022.  
95 f. : il. color.

Orientador(a): Érico Raimundo Pereira de Novais.  
Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará, Instituto de Ciências Exatas, Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, Marabá, 2022.

1. Física - Estudo e ensino. 2. Eletrostática. 3. Campos elétricos. 4. Capacitadores. I. Novais, Érico Raimundo Pereira de, orient. II. Título.

---

CDD: 22. ed.: 530.07

Elaborado por Adriana Barbosa da Costa – CRB-2/994

## AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil – CAPES – Código de Financiamento 001.

Agradeço aos professores do Mestrado Nacional Profissional em ensino de Física integrantes do polo da UNIFESSPA por terem contribuído no processo de formação profissional.

Aos meus alunos pelo apoio e contribuição na aplicação das atividades experimentais apresentadas nesta obra.

À Sociedade Brasileira de Física (SBF) pela iniciativa em promover o aprimoramento em um nível de pós-graduação *stricto sensu* a profissionais da educação básica.

Agradeço aos colegas de mestrado, cuja interação proporcionou momentos de riquíssimo aprendizado.

Aos meus pais Laudelino Peixoto de Moraes e Wanda Fantoni de Moraes (*in memoriam*) por nunca terem medido esforços para me dar uma educação de qualidade, sempre contribuindo de forma significativa com minha formação humana, acadêmica e profissional.

Aos meus irmãos Carolina, Isaura e Alexandre pelo apoio imprescindível.

À minha esposa, Patrícia, cujo carinho e apoio foram fundamentais para que eu conseguisse terminar de escrever essa dissertação, sempre me impulsionando em direção às vitórias dos meus desafios.

*“Pensar é o trabalho mais difícil que existe.  
Talvez por isso tão poucos se dediquem a ele”.*

*Henry Ford*

## RESUMO

Esta dissertação tem como proposta didática a análise e criação de uma prática experimental que atue como projeto motivador para a aprendizagem do assunto campo elétrico abordado na Física no ensino básico. Baseado nas teorias pedagógicas de estímulo as aulas práticas e execução de experimentos que estimulem e motivem o ensino, tendo como principal referência as teorias de Ausubel sobre a aprendizagem significativa, processo através do qual uma nova informação relaciona-se com um aspecto relevante da estrutura de conhecimento do indivíduo. Para sustentar tal proposta foi criado um sensor de presença capacitivo para o estudo da eletrostática, pois a aproximação de determinado corpo é percebida por esse dispositivo que capta esse sinal e indica a variação da capacitância mediante aproximação dos corpos, dessa forma, variando a impedância do circuito no qual o sensor está inserido. Essa perturbação no circuito, que é alimentado pelo Arduino, o qual insere no circuito uma tensão variável no formato de onda quadrada, é amplificada gerando uma mudança na intensidade do brilho de um LED, no qual o aluno poderá perceber visualmente a variação da capacitância. Além do experimento, para que o aluno tenha melhor compreensão da eletrostática e sua aplicabilidade no cotidiano. Na tentativa de avaliarmos a nossa metodologia foram utilizados questionários e avaliações a partir dos quais observou-se a necessidade das aulas práticas no processo de aprendizagem dos discentes, para que possam atingir altos níveis de desenvolvimento, interação, motivação e compartilhamento de conhecimento.

**Palavras chave:** Aprendizagem significativa, Ensino de Física, eletroestática arduino, sensor, experimento, capacitor.



## ABSTRACT

This dissertation has as a didactic proposal the analysis and creation of an experimental practice that acts as a motivating project for the learning of the electric field approached in Physics in basic education. Based on pedagogical stimulus theories such as practical classes and carrying out experiments that stimulate and motivate teaching, having as main reference Ausubel's theories on meaningful learning, a process through which new information is related to a relevant aspect of the structure of knowledge of the individual. To support this proposal, a capacitive presence sensor was created for the study of electrostatics, for the study of electrostatics, as the approximation of a given body is perceived by this device that captures this signal and indicates a capacitance variation upon approximation of the bodies, this way, varying the impedance of the circuit in which the sensor is inserted. This disturbance in the circuit, which is powered by the Arduino, which inserts a variable voltage in the square wave form into the circuit, is amplified generating a change in the brightness of an LED, so student can visually perceive the capacitance variation. In addition to the experiment, so that the student has a better understanding of electrostatics and its applicability in daily life, In an attempt to evaluate our methodology, questionnaires and assessments were used, from which we observed the need for practical classes in the students' learning process, to reach high levels of development, activity, purpose and knowledge sharing.

**Keywords:** Learning, Teaching Physics, Arduino electrostatics, sensor, experiment, capacitor.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1-</b> Esquema referente a aprendizagem significativa.....	17
<b>Figura 2-</b> campo elétrico gerado por uma carga pontual positiva.....	26
<b>Figura 3-</b> O campo elétrico gerado por uma carga pontual negativa tem sentido entrando na carga em todas as direções. ....	26
<b>Figura 4-</b> Representação gráfica das linhas de campo de um dipolo elétrico ...	27
<b>Figura 5-</b> Modelo do funcionamento da garrafa de leiden .....	28
<b>Figura 6-</b> Alguns tipos de capacitores. ....	29
<b>Figura 7</b> Circuito formado por uma bateria B, uma chave S e as placas a e b de um capacitor C. ....	29
<b>Figura 8 –</b> Representação das placas de um capacitor .....	30
<b>Figura 9 -</b> Esquema de um capacitor cilíndrico.....	32
<b>Figura 10-</b> valores de k para alguns materiais típicos .....	32
<b>Figura 11 -</b> símbolo do amplificador operacional.....	33
<b>Figura 12 -</b> circuito do amplificador não inversor.....	34
<b>Figura 13 -</b> circuito do amplificador diferencial.....	35
<b>Figura 14 -</b> configuração do amplificador diferencial .....	35
<b>Figura 15 -</b> Placa do Arduino Uno .....	37
<b>Figura 16 –</b> Tela da interface de programação IDE Arduino .....	38
<b>Figura 17 –</b> Trecho do código desenvolvido pelo autor na interface de programação IDE Arduino .....	40
<b>Figura 18 –</b> Esquema das placas de um capacitor .....	40
<b>Figura 19 –</b> Esquema do campo elétrico curvilíneo formado pelas placas de um capacitor.....	41
<b>Figura 20-</b> Amplificador operacional .....	41
<b>Figura 21 -</b> Amplificador na configuração diferencial .....	42
<b>Figura 22 –</b> Esquema de sensor de presença com objetivo de amplificar a variação da capacitância .....	42
<b>Figura 23 -</b> circuito eletrônico do sensor de presença.....	43
<b>Figura 24 –</b> Vista superior do sensor de presença capacitivo acoplado ao arduino.....	44
<b>Figura 25 -</b> Vista lateral do sensor de presença capacitivo acoplado ao arduino .....	45
<b>Figura 26 –</b> Vista inferior do sensor de presença capacitivo .....	45
<b>Figura 27-</b> Arduino e sensor de presença capacitivo antes de serem acoplados .....	45

## LISTA DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> – Questionário feito com os alunos sobre as aulas de física nas escolas, as metodologias utilizadas nas mesmas e sua efetividade. ....	46
<b>Gráfico 2</b> – Respostas dos alunos ao questionário referente a conhecimentos gerais sobre efeito capacitivo, capacitores e a importância do estudo dos mesmos. ....	47
<b>Gráfico 3</b> – Questionário feito com os alunos para avaliarem a efetividade do material didático bem como o modo como este permite ver a física no dia a dia. ....	48

## LISTA DE SIGLAS ABNT

UNB	Universidade de Brasília
BNCC	Base Nacional Comum Curricular
CEFET	Centro Federal de Educação Tecnológica
LDB	Lei de Diretrizes e Bases da Educação Nacional
FUB	Fundação Universidade de Brasília
CF	Constituição Federal
MEC	Ministério da Educação
ENEM	Exame Nacional do Ensino Médio

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>15</b>
2.1 História da Física.....	15
2.2 O Modelo pedagógico de Ausubel: .....	16
2.3 Aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica .....	18
2.4 As fases da aprendizagem significativa: .....	19
2.5 A utilização de experimentos como ferramenta para auxiliar a obtenção da aprendizagem efetiva.....	22
2.6 A proposta de um experimento para o ensino de Física: .....	24
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>25</b>
3.1 O campo elétrico: .....	25
<b>3.1.1 Linhas de campo elétrico.....</b>	<b>25</b>
3.2 A garrafa de Leiden .....	27
3.3 Capacitor: .....	28
<b>3.3.1 Capacitância .....</b>	<b>29</b>
<b>3.3.2 Capacitor com um dielétrico .....</b>	<b>31</b>
<b>3.3.3 Capacitor cilíndrico .....</b>	<b>31</b>
3.3 Amplificadores operacionais.....	33
<b>3.3.1 Amplificador não inversor.....</b>	<b>34</b>
<b>3.3.2 Amplificador diferencial .....</b>	<b>35</b>
3.4 Reatância.....	36
3.5 Impedância.....	36
<b>4. Arduino .....</b>	<b>37</b>
<b>5. SENSOR DE PRESENÇA CAPACITIVO .....</b>	<b>39</b>
5.1. Modulação.....	39
5.2. Detecção.....	40
5.3. Amplificação.....	41
<b>6. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>46</b>
<b>7. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>49</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>51</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento no campo da Física é responsável pelo desenvolvimento tecnológico, através de princípios que ocorrem em uma grande variedade de máquinas e equipamentos, desde celulares, calculadoras, televisores e até as máquinas de ressonância magnética, aviões, foguetes espaciais, dentre outras máquinas e equipamentos.

No entanto no primeiro semestre, para os alunos do Ensino Médio, a compreensão dessa importância da Física e de sua presença em nosso cotidiano não está bem fundamentada. Esse é um fator amplamente discutido por diversos autores, como Ausubel, Vygotsky e Novak, que ressaltam o impacto negativo da tentativa de ensino e aprendizagem atreladas apenas à teoria, ou seja, restrito ao uso em sala de aula com exclusiva finalidade quantitativa, de acumulação de conhecimentos teóricos aplicados apenas em questões de provas e testes escolares.

Ocorre que tais recursos didáticos, proposto por Ausubel, os experimentos e práticas são imprescindíveis para melhorar a assimilação do discente em relação ao fenômeno estudado. Nesse sentido, a possibilidade de comprovar a teoria auxilia o aluno a desenvolver subsunções, sendo este uma estrutura cognitiva existente, fixando na memória aquilo que foi aprendido, além de ser um incentivo para que este deseje se aprofundar no assunto. No que diz respeito ao ensino das ciências, mais especificamente da física, o ensino aliado a experimentação contribui de maneira significativa.

Por esses motivos, o trabalho de pesquisa que originou esta dissertação se baseou em experimento desenvolvido com alunos do ensino médio técnico integrado, voltado para a construção de um aparato capaz de demonstrar visualmente a variação da capacitância de um capacitor de placas paralelas, em função da variação do meio; vale ressaltar que esse é um fenômeno físico eletrodinâmico muito presente no dia a dia seja em sensores de umidade, pressão ou até mesmo proximidade.

Partindo dessa situação problema, buscou-se possibilitar uma melhor compreensão desse efeito capacitivo através de experimentação.

Para tanto, foram utilizados componentes eletrônicos, como o amplificador operacional e o arduino; sendo o primeiro responsável por identificar a diferença da tensão entre o capacitor e a tensão de referência, e também por amplificar esse sinal; e o segundo componente tendo como função de oscilar a tensão aplicada no capacitor e no amplificador. Esses mecanismos geram um aumento de tensão em um LED, e conseqüentemente da corrente, proporcional a variação do sensor capacitivo. Esse aumento de tensão faz com que o LED mude a intensidade de seu brilho, permitindo ao aluno compreender a relação existente entre o meio e a capacitância.

Além de compreender melhor o fenômeno físico, o professor pode expandir as aplicações que utilizam o mesmo princípio, como teclados, displays touchscreen, acelerômetros (usados na indústria para medir o desgaste de equipamentos mecânicos), etc. Dessa forma, o aluno perceberá a relação direta existente entre o conceito estudado e o mundo que o cerca.

Adiante serão abordados temas como campo elétrico, capacitância, eletrônica e programação, assim permitindo que o sensor de presença capacitivo possa ser construído por outros docentes para aplicação em sala de aula, como também servirá para que o professor possa explicar aos alunos os mecanismos com que o sensor é capaz de atuar a partir do fenômeno físico da capacitância.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 História da Física

Há milhares de anos, o ser humano procura entender o mundo que o cerca. Uma busca que se iniciou antes mesmo da escrita contribuiu para a construção da civilização como hoje a conhecemos. Enquanto Babilônios e Egípcios se tornavam os pioneiros na área da aritmética e engenharia, apesar de fortemente influenciados por suas crenças; posteriormente na Grécia, entre 300 e 100 ac, a Física e Metafísica avançaram com a ajuda de filósofos que aos poucos deixaram de fundamentar o que acontecia na natureza apenas aos resultados das ações divinas sobre o mundo natural.

Com a chegada da idade média, a inquisição, em uma tentativa de reprimir conhecimentos que fossem contra os dogmas da igreja e incentivassem questionamentos, movimentou de maneira negativa a produção científica. Dessa forma vários pensadores e pesquisadores foram perseguidos e mortos (tenha-se como exemplo: Galileu Galilei, Giordano Bruno, entre outros).

Porém, apesar das dificuldades enfrentadas, com o advento do século XV e XVI, e o período do Renascimento Científico-cultural, a utilização do método científico mostrou-se novamente imprescindível para compreender o mundo físico-natural, processo histórico que se tornou essencial para o desenvolvimento da física como conhecemos nos dias de hoje.

Um dos maiores representantes desse movimento, e da física moderna inclusive, Galileu Galilei, em sua tese fomentou não somente estruturação do conceito de física como sendo a ciência que estuda a natureza e seus fenômenos, porém também explicitou o papel de um cientista como sendo responsável não somente por observar os fenômenos naturais e levantar hipóteses, porém buscar através da experimentação a comprovação das mesmas.

Nos séculos seguintes, especialmente, durante o movimento iluminista entre os séculos XVIII e XIX, podemos citar grandes nomes das ciências físicas, como por exemplo, *Maxwell*, que estudou o eletromagnetismo entre 1854 e 1879, postulando sua relação com luz e propondo princípios físicos que até hoje são utilizados para explicar vários fenômenos eletromagnéticos e ópticos. Foram esses avanços da Física moderna a partir do século XIX, que tornou explícita sua importância para a sociedade e para a compreensão do mundo.



Em outras palavras, a Física enquanto área de conhecimento é ciência responsável por investigar os fenômenos naturais através de representações estruturais detalhadas e postulados aplicáveis de forma metódica.

Sabendo disso, não há como refutar a importância do ensino da Física para a sociedade, uma vez que através dos conhecimentos físicos podemos compreender melhor o mundo que nos cerca.

No tópico seguinte uma breve análise da história do ensino de ciências (incluindo-se a Física) no Brasil, ressaltando a situação atual do ensino de Física, e como as diferentes metodologias utilizadas levam a resultados específicos de aprendizagem.

## **2.2 O Modelo pedagógico de Ausubel:**

Seguindo a linha de pensamento de Ausubel, a aprendizagem precisa ser efetiva (ou significativa); o que segundo MOREIRA (2010) é o processo pelo qual o conhecimento adquirido recentemente se relaciona de maneira não arbitrária e não literal à estrutura cognitiva prévia do sujeito receptor das informações, fazendo com que o seu conhecimento prévio sirva de base e interaja, de forma significativa, com o novo conhecimento que lhe é apresentado, provocando mudanças em sua estrutura cognitiva.

Para Dorneles (2005: p. 34, apud FILHO: 2013, p.21) *“A teoria de Ausubel é uma teoria cognitiva construtivista, extremamente voltada para aprendizagem, tal como ela ocorre na sala de aula, no dia-a-dia da grande maioria das escolas”*. Portanto, segundo essa linha de pensamento a mesma atua como uma explicação teórica do processo de aprendizagem, para clarificar a aprendizagem escolar formal e o ensino em geral.

Nesse modelo é interessante também destacar a importância da organização cognitiva para a assimilação de conceitos científicos requeridos nas aulas de Física e ciências em geral. De acordo com da Silva e Schirlo (2014, p.3).

“Entende-se que a organização cognitiva do educando é relevante para a aprendizagem de conceitos científicos, pois estes são constituídos por uma organização de conceitos e proposições que formam um conjunto de novas relações, que

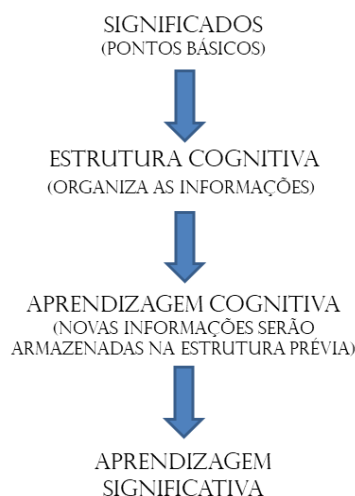
interagem com uma estrutura de conhecimento específica, denominada por Ausubel (1973) de subsunção”.

No que diz respeito a importância de auxiliar o aluno a assimilar significados, Silva e Schirlo (2014, p.4) ainda discorrem sobre a função dos significados a servir de base para alicerçar os conhecimentos futuros, que virão a originar a estrutura cognitiva como um todo. Nessa perspectiva, para a formação da estrutura cognitiva esses conceitos são armazenados e organizados levando o aluno ao processo de aprendizagem cognitiva; neste momento, os conhecimentos prévios, ou seja, os diversos significados assimilados ao longo da trajetória ensino-aprendizagem vivida pelo estudante e sua qualidade, tem influência na maneira pela qual a aprendizagem cognitiva se dará, uma vez que o elemento fundamental da aprendizagem significativa é a interação e influência transversal dos conhecimentos prévios e recentes.

Os efeitos positivos desse método que envolve a utilização de subsunções, quer sejam resumos, esquemas, livros paradidáticos, etc; se baseia na conclusão obtida por Ausubel (2003) de que o ser humano tende a aprender mais facilmente um corpo de conhecimentos quando apresentado a partir de suas ideias mais gerais e mais inclusivas, se desdobrando para as ideias mais específicas e menos inclusivas.

Para facilitar a compreensão da função de cada componente da aprendizagem significativa Ausubel fez uso do seguinte esquema (que inclusive pode ser citado como uma ferramenta para o alcance desse modelo de aprendizagem):

**Figura 1**-Esquema referente a aprendizagem significativa



**Fonte:** O autor, 2021.

Além desses aspectos é relevante explicitar a conotação pessoal que esse tipo de aprendizagem recebe, já que, por existir uma relação entre os conhecimentos, cada conceito tem variações em seu significado de acordo com o estudante e seus conhecimentos prévios. De acordo com Moraes e Júnior (2015, p.2) “*A aprendizagem significativa ocorre quando o aprendiz consegue atribuir significado ao que está sendo aprendido, porém estes significados têm sempre atributos pessoais*”; caso ocorresse o contrário a aprendizagem seria mecânica, modelo este que será discutido no tópico a seguir.

### **2.3 Aprendizagem significativa e aprendizagem mecânica**

Para Moraes e Júnior (2015) “(...)uma aprendizagem em que não exista uma atribuição de significados pessoais nem uma relação com o conhecimento prévio do aluno, não é considerada como sendo significativa e sim mecânica”. Portanto, iniciaremos a discussão tendo em mente que em palavras simples e objetivas, o ponto chave para diferenciar as duas aprendizagens é a ligação (ou falta dela) entre os conhecimentos.

Ausubel (1973, p.23 apud Silva e Schirlo, 2014, p.5) explicita isso ao falar que a aprendizagem é mecânica *quando não procura estabelecer uma ligação entre os conhecimentos já presentes na estrutura cognitiva do aprendiz e os que serão adquiridos*. O não gesto de “linkar” esses conhecimentos interferem negativamente na falta de aptidão para, por exemplo, executar um exercício que tenha como base conteúdos trabalhados anteriormente, inclusive em outras disciplinas; situação muito comum em questões de vestibulares necessárias para ingresso na formação do ensino superior.

Outro exemplo, citado pelos autores acima referidos são as inúmeras situações nas quais as novas informações são assimiladas sem interagir com conceitos relevantes pré-existentes na estrutura cognitiva; neste caso, o estudante aprende fórmulas tão somente para a prova e deixa de compreender o assunto em si, esquecendo-o logo em seguida. Dessa maneira, seja por não ter subsunções adequados, tema este que será trabalhado no próximo tópico e/ou por outros problemas derivados de outras falhas do sistema educacional vigente, a

aprendizagem mecânica perdura apesar de vir demonstrando ser ineficaz frente aos desafios de ensino da atualidade.

Em se tratando especificamente do ensino de Física, a aprendizagem mecânica se dá quando:

- Ocorre uma supervalorização de provas e testes, quase que exclusivamente de verificação quantitativa do conhecimento, através de questões de múltipla escolha.
- É feito o incentivo aos alunos de apenas decorarem fórmulas, sem necessariamente entender o porquê de sua aplicação em dadas situações.
- O ensino é voltado apenas para conhecimentos que garantam a aprovação em exames admissionais (ENEM, vestibulares e processos seletivos como um todo).

#### **2.4 As fases da aprendizagem significativa:**

Ausubel (1982) propõe que a busca pela aprendizagem efetiva se dá através de três fases que visam integrar os conhecimentos de maneira hierárquica na estrutura cognitiva.

A **primeira fase** aborda a utilização de *organizadores prévios* com o objetivo de adequar ou de formar as subsunções, a fim de obter a estrutura cognitiva necessária para a obtenção de uma aprendizagem significativa, especialmente quando o aluno não possui subsunções para ancorar a nova aprendizagem.

Os organizadores prévios podem se apresentar sob a forma de diferentes materiais (esquemas, filmes, textos, etc) que permitem ao aluno introduzir de forma mais abrangente certos conhecimentos em seu contexto, permitindo a integração de novos conceitos aprendidos, tornando mais fácil relacionar tais informações de conteúdos mais complexos/emergentes com estrutura cognitiva já existente no educando.

Da Silva e Schirlo (2014: p.38) ao interpretar a teoria de Ausubel, alertam que a utilização dos organizadores prévios deve ocorrer nos casos em que:

“(...) o aluno não dispõe de subsunções para ancorar as novas aprendizagens. Ou, quando for constatado que os subsunções existentes em sua estrutura cognitiva não são satisfatórios e

estáveis para desempenhar as funções de ancoragem do novo conhecimento”.

No que se refere ao subsunçor, de acordo com Ausubel (1968, p. 3, apud Moreira, 2011, p. 12), trata-se de uma estrutura específica, na qual uma nova informação pode se agregar ao cérebro humano, que é altamente organizado e detentor de uma hierarquia conceitual, capaz de armazenar as experiências prévias do sujeito/educando.

Sob outra ótica, os subsunçores são agentes que podem relacionar ideias selecionadas, que estejam presentes na estrutura cognitiva do aluno. Portanto, podemos dizer que um subsunçor nada mais é do que determinado conhecimento, que devido ao seu papel e configuração na estrutura cognitiva torna-se capaz de auxiliar no processo de significação ou ressignificação de outro conhecimento.

Assim, não existe aprendizagem satisfatória sem o recurso desses subsunçores. Por isso, é fundamental em todo o processo de ensino nas diferentes etapas e níveis buscar construir esses conhecimentos prévios que servirão de base para as construções cognitivas mais estruturadas e hierarquicamente organizadas. E em caso, de não existirem ou de não estarem em condições de serem facilmente acionados, devemos utilizar os organizadores prévios.

Tal entendimento se encontra presente na linha de pensamento de Ausubel e sua Teoria da aprendizagem efetiva; o qual, também é definido por Moreira e Masini (2006) como o maior representante dos modelos de aprendizagem baseados na psicologia cognitivista, que estuda todo o processo da compreensão, transformação, armazenamento e uso da informação envolvida na cognição.

Pelo exposto, seguido o proposto por Ausubel (1968, p.78) tem-se que: “O mais importante fator isolado que influencia a aprendizagem é o que o aprendiz já sabe. Determine isso, e ensine-o de acordo”.

Importante frisar que os organizadores prévios não servem como resumos e sim, como representações esquematizadas e com uma maior possibilidade de abstração tendo em vista sua abrangência. É esse aspecto que torna possível uma “ativação” dos subsunçores por esses organizadores, que funcionam como uma ferramenta que possibilita um raciocínio e absorção de conteúdos de maneira

metodológica, servindo de ponte entre os conhecimentos hierárquicos propostos e os prévios.

Podemos inclusive citar como exemplos, conceitos prévios matemáticos trabalhados no ensino fundamental correspondentes as quatro operações básicas, os quais se estiverem presentes na estrutura cognitiva do aluno servirão de subsunçores para trabalhar assuntos como: campo elétrico e lei de ohm, posteriormente no ensino médio. Portanto, compreende-se que a primeira fase garante uma base para trabalhar conteúdos futuros com maior profundidade.

A **segunda fase** na aquisição da aprendizagem efetiva, determina que o aprendiz esteja apto, ou seja, tenha fixado os subsunçores exigidos previamente e assim, estar disposto para compreender o assunto trabalhado. Daí que se mostra necessária a manifestação do interesse em aprender, sem o qual não se pode avançar no processo de aquisição de conhecimentos; por isso, é importante que o professor incentive o aluno a interessar-se pelo conteúdo, o que pode ser agilizado com a utilização de ferramentas que potencializem o processo de subsunção ligando os conteúdos anteriores com os que irão ser trabalhados de maneira mais rápida e eficaz.

Nessa etapa, após a formação dos conceitos iniciais, são utilizados elementos que facilitam as ligações entre esses conteúdos, para proporcionar a abstração dos mesmos pelos alunos. Dentre essas ferramentas, destaca-se o uso de elementos de organização que relembram conceitos antigos, os quais irão ancorar os novos conceitos.

Na terceira etapa, os conhecimentos que já foram relacionados são readequados e redistribuídos na estrutura cognitiva, recebendo ou não graus de importância maiores ou menores. Nesse momento o educador auxilia o aprendiz a “catalogar” os conhecimentos nessa estrutura, como sendo subsunçores e/ou conhecimentos prévios.

Contextualizando, podemos observar que dados conteúdos mais específicos, que normalmente são trabalhados em séries mais avançadas, complementam ou até ressignificam assuntos vistos em séries anteriores de forma mais abrangente. Um bom exemplo disso é o que ocorre no ensino médio; momento no qual o professor espera que o aluno possua subsunçores matemáticos e físicos conceituais, capazes de compreender a Teoria da Gravitação universal, estando estes ancorados a conhecimentos sobre conceito de onda e frequência.

Como conclusão, a aplicabilidade de uma metodologia de ensino significativa ao se basear no cognitivismo construtivista é na perspectiva de Dorneles (2005, p. 34) *“extremamente voltada para aprendizagem, tal como ela ocorre na sala de aula, no dia-a-dia da grande maioria das escolas”*. Sendo seu conhecimento de extrema importância para o desenvolvimento de uma educação de qualidade, aplicada para a vida prática.

## **2.5 A utilização de experimentos como ferramenta para auxiliar a obtenção da aprendizagem efetiva.**

Bazin (1987) em uma situação de ensino não formal de Ciências, discorre sobre a melhor qualidade do aprendizado através de uma metodologia que utilize experimentações, quando comparada a simples memorização de conteúdo, que geralmente é aplicada nas salas de aula. Constata essas dificuldades dos alunos em perceberem a Física como algo real, seja em situações do cotidiano ou em contextualizações científicas, apontando a necessidade de intervenção no que diz respeito às falhas do modelo educacional vigente.

Para o pesquisador, a introdução de experimentos ao ensino das ciências como um todo tem um papel importante na promoção de uma mudança educacional, servindo como espécie de mediador entre fenômenos reais e simulados, atraindo a atenção do aluno e apresentando a disciplina trabalhada, no caso a Física, como algo interessante e real.

Nesse contexto, Delizoicov e Angotti (1994, p.22) afirmam que *“As experiências despertam em geral um grande interesse nos alunos, além de propiciar uma situação de investigação. Quando planejadas, (...) elas constituem momentos particularmente ricos no processo de ensino aprendizagem”*.

O ponto chave dessa nova abordagem é que essa metodologia pode ser utilizada para concretizar as fases retratadas na teoria da aprendizagem significativa. Nesse sentido, podemos explicitar como cada uma das fases foi trabalhada através dos experimentos.

Os eventos da primeira fase se tratam, em suma, dos conceitos base que devem ser previamente trabalhados antes da construção do experimento. Nessa etapa, caso haja a situação na qual por algum motivo o indivíduo em processo de aprendizagem não apresente os subsunçores necessários; tanto os organizadores

prévios tradicionais podem ser utilizados, como por exemplo esquemas, textos, desenhos, conteúdos de mídia e etc; quanto os próprios experimentos -que por terem um grau de subjetividade maior e ilustrarem a teoria- facilitarem a ligação e alteração da estrutura hierárquica que o aluno já tem com relação a conceitos e informações novas.

Dessa forma, os experimentos podem ser utilizados tanto como estratégia de descoberta individual, ou até mesmo para levar os alunos a darem os primeiros passos acadêmico-científicos, pois introduzem os alunos nos processos da ciência (FERREIRA, 1978).

E esse engajamento, permite que se passe para a segunda fase do processo de construção de uma aprendizagem efetiva e significativa.

Para Amaral (1997), os experimentos têm que assumir uma postura de desmistificação da ciência moderna, através de uma atuação interdisciplinar na qual o professor utiliza métodos abrangentes e eficazes (de acordo com a linha de pensamento de Ausubel) que incentivem o aluno a se interessar pelo assunto que será trabalhado; momento no qual os experimentos se encaixam perfeitamente por serem excelentes ferramentas de contextualização e por possibilitarem a utilização da metodologia científica, essencial para a compreensão de conteúdos no ramo da física.

De acordo com Amaral (1997, p. 14), os experimentos são capazes de: *“(...) criar situações que agucem os conflitos cognitivos no aluno, colocando em questão suas formas prévias de compreensão dos fenômenos estudados”*.

Nessa mesma perspectiva, nas próprias Diretrizes Curriculares para o Ensino de Física (2008), se afirmam que ao optar pelo ensino de física através de experimentos o educador deve assumir uma postura que gere dúvidas e questionamentos no aluno, incentivando-o a expor suas e ideias e percepções do processo, assegurando o aprofundamento de seus conhecimentos.

Por fim, o experimento leva a terceira fase descrita por Ausubel, na qual o estudante passa a ter conhecimentos consistentes dos conceitos trabalhados, obtidos em razão das dúvidas sanadas e dos questionamentos utilizados durante as etapas de realização do experimento para refutar diversas situações-problema; inclusive, vivenciando momentos em que conceitos específicos podem ser ressignificados e conseqüentemente, se tornando capaz de ancorar outros conteúdos prévios a novos, o que proporciona a aprendizagem significativa.



Portanto, o estudante devido às diversas dúvidas que surgem e são sanadas ao longo do processo, passa a ter conhecimentos consistentes dos conteúdos trabalhados, os quais que foram obtidos ao resolver diversas problemáticas no experimento; e com a orientação do professor consolida conceitos que se transformam em conhecimentos bem ancorados na estrutura cognitiva do aluno.

## **2.6 A proposta de um experimento para o ensino de Física:**

Devido ao grande *déficit* de formação existente na educação básica, especialmente no ensino de ciências e particularmente da Física, muitos dos quais oriundos dos processos históricos, econômicos e sociais anteriormente citados; desenvolvemos a proposta de construção de um **Sensor de Presença Capacitivo**, como experimento pedagógico para o ensino de Física por alunos do Ensino Médio de uma escola pública de Marabá.

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

No que diz respeito aos conteúdos de Física trabalhados no experimento proposto devemos citar:

#### 3.1 O campo elétrico:

Segundo Halliday (2016. p.75) O campo elétrico ( $\vec{E}$ ) é uma grandeza vetorial, criado a partir de uma partícula carregada. Ao colocarmos uma segunda partícula carregada dentro da região do campo elétrico gerado pela primeira partícula, esta será submetida a uma força eletrostática ( $\vec{F}$ ), dependente do módulo e orientação do campo elétrico no local onde a segunda partícula encontra-se. Dessa forma, podemos definir a relação entre campo e força eletrostática, exercida sobre uma carga de teste ( $q_0$ ). Assim, obtemos a equação:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (1)$$

onde  $\vec{E}$  é o campo elétrico,  $\vec{F}$  a força elétrica e  $q_0$  a carga.

##### 3.1.1 Linhas de campo elétrico

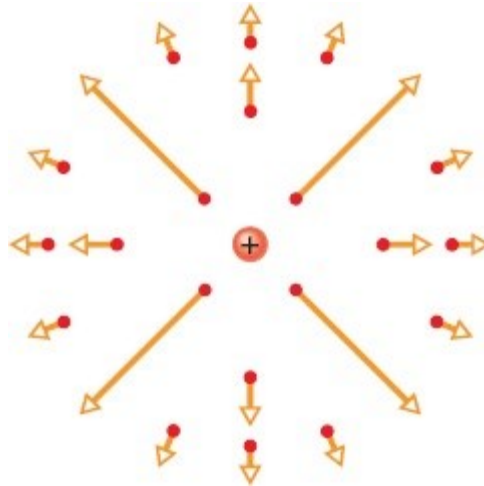
No século XIX, Michael Faraday (1791-1867) foi o responsável por imaginar as linhas de campo ao redor de uma partícula ou objeto carregado com cargas elétricas. Na época, Faraday chamou essas linhas de “linhas de força”, considerando que o espaço na vizinhança de um corpo eletricamente carregado era ocupado por elas.

Em outras palavras, para boa compreensão dos alunos poderíamos dizer que uma *linha do campo elétrico* é uma linha imaginária desenhada de modo que sua tangente em qualquer ponto, aponte na direção do vetor do campo elétrico naquele ponto.

Dentre os tipos de linhas de campo existentes, podemos citar:

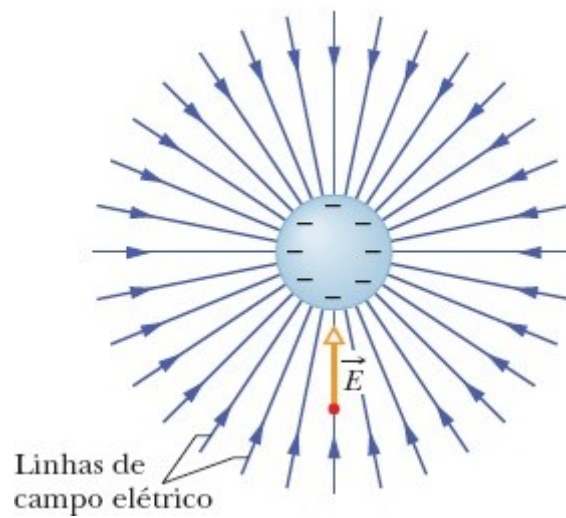
O campo elétrico gerado por uma carga pontual positiva tem sentido saindo da carga em todas as direções.

**Figura 2-** campo elétrico gerado por uma carga pontual positiva



**Fonte:** HALLIDAY, 2016, p. 82

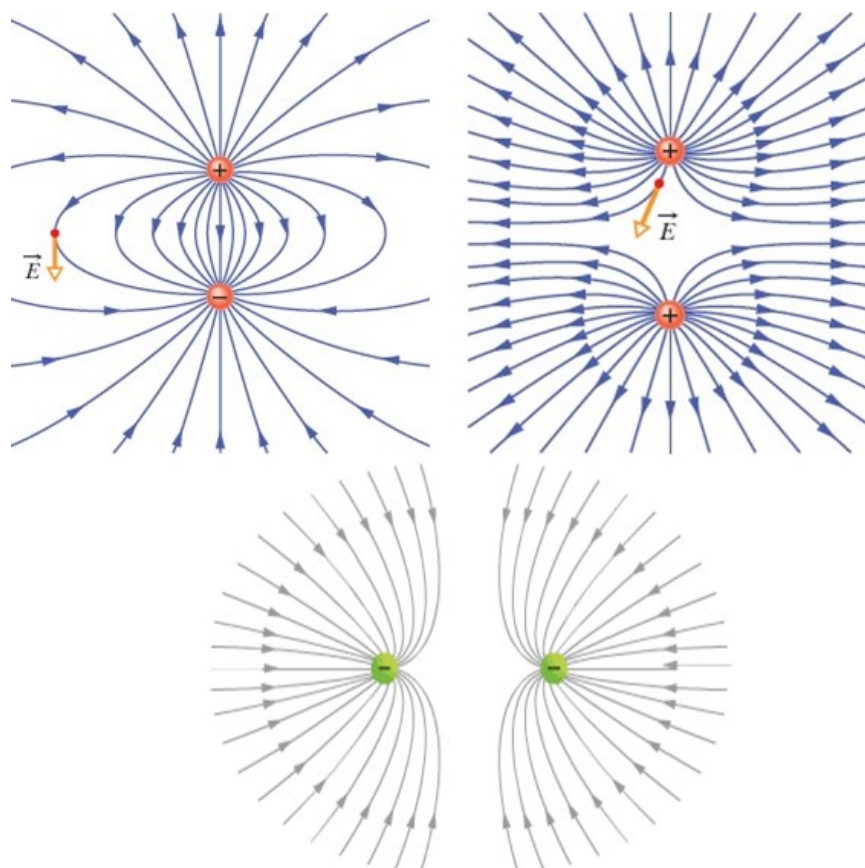
**Figura 3-** O campo elétrico gerado por uma carga pontual negativa tem sentido entrando na carga em todas as direções.



**Fonte:** HALLIDAY, 2016, p. 78

Os dipolos elétricos que possuem duas cargas iguais, mas de sinais contrários ou de sinais iguais têm as linhas de campo representadas na figura abaixo

**Figura 4-** Representação gráfica das linhas de campo de um dipolo elétrico



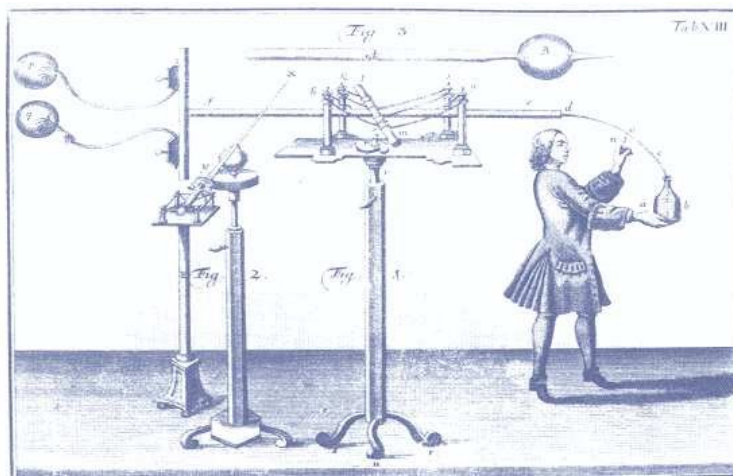
**Fonte:** HALLIDAY, 2016, ps. 80 e 85 e <<https://brasilecola.uol.com.br/o-que-e/fisica/o-que-e-campo-eletrico.htm>>. Acesso em fevereiro de 2021.

### 3.2 A garrafa de Leiden

A garrafa de Leiden é a precursora dos condensadores, denominação antiga do capacitor. Sua descoberta ocorreu de forma acidental em 1745 por Pieter van Musschenbroek, físico e professor holandês, e seu nome deve-se a cidade onde foi descoberta, Leiden.

O modelo original era constituído por uma garrafa de vidro, a qual possuía água no seu interior, e uma rolha perfurada que era atravessada por uma haste metálica que ficava em contato direto com a água.

**Figura 5-** Modelo do funcionamento da garrafa de leiden



Fonte: SILVA, 2010.

Musschenbroek estava tentando introduzir carga elétrica na água do recipiente através de uma haste mergulhada na água e ligada ao terminal de uma máquina eletrostática. Enquanto Musschenbroek carregava por atrito a haste, um estudante segurava a garrafa. Quando o estudante esbarrou na haste, levou um choque violento. Repetiram, então, o experimento, trocando de papéis, e Musschenbroek levou um choque ainda maior.

Dessa forma, acidentalmente, foi descoberta a garrafa de Leiden, o primeiro capacitor capaz de armazenar carga elétrica.

### 3.3 Capacitor:

Segundo Halliday (2016. p.264) o capacitor é um dispositivo usado para armazenar energia. Em outras palavras, um capacitor é constituído basicamente por duas placas metálicas, geralmente de alumínio, que atuam como condutores que por sua vez mantêm uma certa distância entre si e um dielétrico que atua como um isolante posicionado entre as placas. Os dielétricos podem ser feitos de diversos materiais, como cerâmicas e tântalo. Dessa maneira seu nome costuma ser relacionado ao material utilizado como dielétrico.

**Figura 6-** Alguns tipos de capacitores.



**Fonte:** HALLIDAY, 2016.

Para carregar um capacitor as placas condutoras devem ser carregadas. Para isso, devem ser ligadas a um circuito elétrico com um gerador, um dispositivo que possui dois terminais com uma diferença de potencial, sendo, um positivo e um negativo, como uma bateria ou fonte conforme a que foi utilizada no experimento.

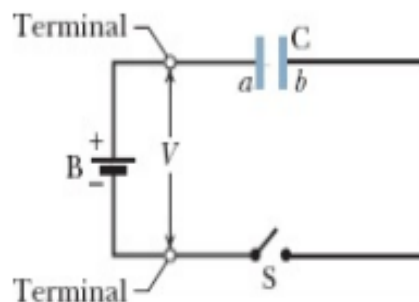
O funcionamento dos capacitores acontece da seguinte maneira:

No momento em que se aplica tensão elétrica sobre essas duas placas, que nada mais são do que dois condutores isolados entre si; cada um recebe uma polaridade, ou seja, recebem cargas de mesmo valor, porém em um deles são positivas ( $q+$ ) e no outro, negativas ( $q-$ ).

### 3.3.1 Capacitância

Como mostrado nas seções anteriores, os capacitores têm como principal função armazenar energia. Nesse sentido, conforme Halliday (2016. p.264), a capacitância ( $C$ ) é uma medida da quantidade de carga que precisa ser acumulada nas placas para produzir certa diferença de potencial.

**Figura 7** Circuito formado por uma bateria B, uma chave S e as placas a e b de um capacitor C.



Fonte: HALLIDAY, 2016. p. 266.

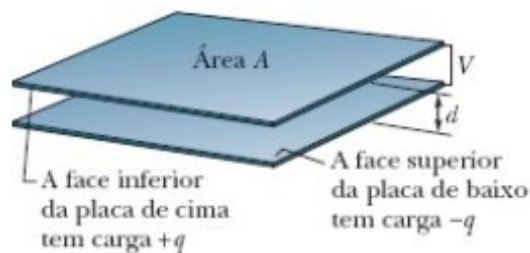
Inicialmente as placas estão descarregadas apresentando uma diferença de potencial igual a zero. Quando o circuito citado acima, é fechado pelo acionamento da chave S o gerador cria uma força eletromotriz que provoca a polarização das placas, ou seja, os elétrons circulam no material condutor, e dado o posicionamento do capacitor, partem do polo negativo para a placa b e vão sendo armazenados, enquanto a placa a perde elétrons, ficando positivamente carregada, até que as duas placas atinjam o mesmo valor absoluto de carga. Quanto mais carregadas essas placas maior a diferença de potencial entre as placas se torna, até que se iguale a diferença de potencial dos polos do gerador (força eletromotriz ( $\mathcal{E}$ )). Quando esse equilíbrio é atingido o capacitor está totalmente carregado.

Assim o papel do dielétrico é basicamente isolar as cargas que por não conseguirem fluir através do mesmo, ficam armazenadas no capacitor até que o mesmo se descarregue. A diferença de potencial entre as placas é proporcional a carga que cada uma possui, portanto:

$$Q = C \cdot V \quad (2)$$

onde C é o capacitância, V e a diferença de potencial entre as placas e Q é a quantidade de carga.

Figura 8 – Representação das placas de um capacitor



Fonte: HALLIDAY, 2016. p. 265.

A constante referente a essa proporcionalidade é a própria capacitância, a qual é medida em Farad (F) e, que por sua vez não depende nem da diferença de potencial (V), nem das cargas(Q) e sim da geometria das placas e do material isolante presente entre elas. Sabendo disso, conseqüentemente essa grandeza (C), para capacitores de placas paralelas, é definida pela equação:

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{d} \quad (3)$$

Na qual  $\epsilon$  é a constante dielétrica do meio,  $A$  a área superficial das placas,  $d$  a distância entre as placas e  $C$  a capacitância.

Observando-se que as unidades de representação são: Capacitância representada em Farad (F); a diferença de potencial em volts (V); a quantidade de carga em Coulomb (C), isto é:

$$F \equiv \frac{C}{V} \quad (4)$$

### 3.3.2 Capacitor com um dielétrico

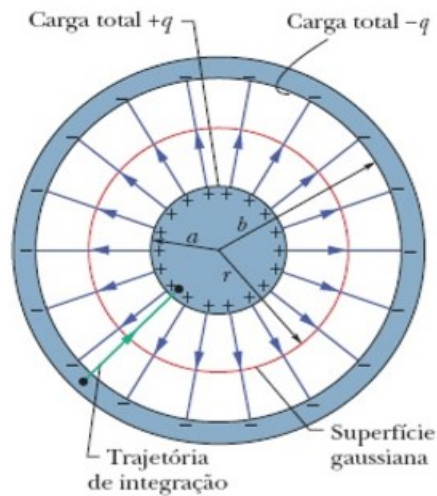
Como citado anteriormente, no capacitor de faces paralelas, o espaço entre as placas é preenchido por um dielétrico e de acordo com a presença ou ausência desse material específico, ocorrerá a interferência na capacitância. No que se refere a esse material, existe uma constante determinada, chamada de *constante dielétrica* ( $k$ ), a qual é multiplicada pelo valor da capacitância.

É importante ressaltar que a utilização de certos materiais do meio, como por exemplo, a cerâmica, podem levar a um aumento significativo da constante dielétrica; porém, o ar, por ser constituído, em sua maior parte, por espaços vazios, sendo assim, um isolante ruim, tem seu valor  $k$ , como sendo um pouco maior que o do vácuo.

### 3.3.3 Capacitor cilíndrico

O sensor de presença a ser montado para o experimento, segue o modelo de um capacitor cilíndrico. Atente-se que segundo Halliday (2016, p.255): “a capacitância de um capacitor cilíndrico, assim como de um capacitor de placas paralelas, depende apenas de fatores geométricos”. Sendo estes o comprimento e os raios de ambos os cilindros condutores, que estão representados pelos elementos a e b da imagem a seguir:



**Figura 9** - Esquema de um capacitor cilíndrico.

Fonte: HALLIDAY, 2016. p. 271.

Tem-se, então, que a capacitância de um capacitor cilíndrico é dada pela equação:

$$C = 2 \cdot \pi \cdot \epsilon_0 \cdot \frac{L}{\ln\left(\frac{b}{a}\right)} \quad (5)$$

onde  $\epsilon_0$  é a constante elétrica do ar, L é o comprimento do cilindro, b é o raio do cilindro externo e a o raio do cilindro interno.

No entanto, Faraday descobriu que, ao mudar o material entre as placas, a capacitância mudava, concluindo que a capacitância de um capacitor também é uma função do material entre as placas condutoras.

Sendo  $\epsilon_0$  a constante dielétrica do vácuo, pode-se escrever a capacitância, para qualquer material entre as placas condutoras, da seguinte forma:

$$C = k \cdot C_{ar} \quad (6)$$

Sendo k a constante dielétrica do material entre as placas, C a capacitância com este material e  $C_{ar}$  a capacitância considerando o ar como material entre as placas condutoras.

**Figura 10**- valores de k para alguns materiais típicos

Substância	Ar 1atm. 20°C	Água destilada 20°C	Vidro	Quartzo	Baquelite	Porcelana	Papel
$\kappa$	1,00059	80,4	~ 4 a 10	~ 5	4,9	~ 6,5 a 7	3,7

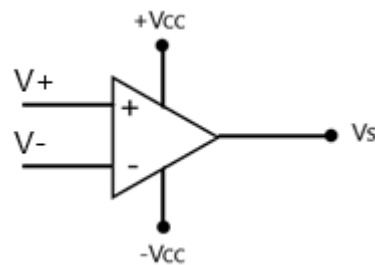
Fonte: Moysés, 2006, p. 86

### 3.3 Amplificadores operacionais

Segundo Albuquerque e Seabra (2009), “O amplificador operacional (AO) é um dispositivo em circuito integrado (CI) que tem grandes aplicações em todas as áreas da eletrônica (filtros, aplicações lineares, aplicações não lineares, áudio, controle, operações aritméticas etc.)”

A principal característica de um amplificador é o ganho de tensão. Na figura 9 é mostrado a simbologia do amplificador operacional.

**Figura 11** - símbolo do amplificador operacional



**Fonte:** Baseado em ALBUQUERQUE; SEABRA, 2009, p.18.

A figura 9 apresenta um amplificador malha aberta. Nessa situação a tensão de saída é determinada pela diferença de tensão entre a entrada não-inversora (+) e inversora (-) multiplicado pelo ganho de tensão ( $A_v$ ), ou seja:

$$V_s = A_v \cdot (V_+ - V_-) \quad (7)$$

Em malha aberta o ganho  $A_v$  é da ordem de milhares, podendo chegar a milhões de vezes. No entanto, a tensão de saída será limitada a Tensão em corrente contínua positiva(+Vcc) e Tensão em corrente contínua negativa(-Vcc), que são os pontos onde uma fonte simétrica é ligada. Portanto, se a diferença entre  $V_+$  e  $V_-$  for, por exemplo, de 3V, +Vcc e -Vcc forem 12V e -12V respectivamente e o ganho  $A_v$  for 100.000, então a saída seria de 300.000V, porém, como a limitação é +Vcc, a saída ficará saturada em 12V. Portanto, +Vcc e -Vcc são as tensões de referência do AO, ou seja, a tensão de saída  $V_s$  estará limitada a esses valores.

Outro exemplo, considerando +Vcc e -Vcc 12V e -12V respectivamente, se a diferença entre  $V_+$  e  $V_-$  for de  $10\mu\text{V}$  e o ganho for 100.000, então a tensão de saída

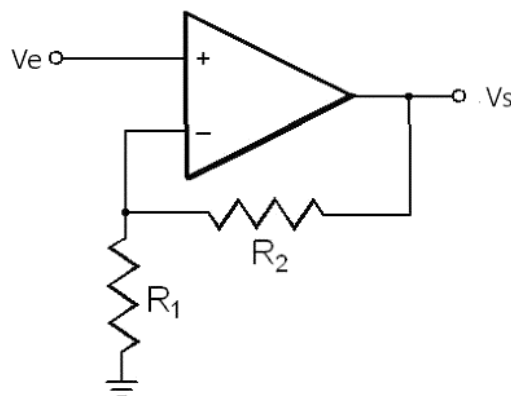
$V_s$  será de  $0,00001V * 100.000 = 1V$ . Ou se a diferença for de  $-10\mu V$ , então a tensão de saída  $V_s$  será  $-0,00001V * 100.000 = -1V$ .

As características de um amplificador ideal são: resistência de entrada infinita, resistência de saída nula e ganho de tensão em malha aberta infinito. Por outro lado, os amplificadores reais possuem características próximas ao do ideal, ou seja, resistência de entrada elevada, resistência de saída próxima de zero e ganhos de tensão na ordem de até milhões de vezes.

### 3.3.1 Amplificador não inversor

Conforme Albuquerque e Seabra (2009), em um amplificador não inversor a tensão de saída estará em fase com a tensão de entrada, em outras palavras, as tensões terão a mesma frequência e mesma polaridade.

**Figura 12** - circuito do amplificador não inversor



**Fonte:** Adaptada de ALBUQUERQUE; SEABRA, 2009.

A tensão de saída no amplificador não inversor é dada pela equação:

$$V_s = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_e \quad (8)$$

Portanto, o ganho de tensão é  $[1+(R_2/R_1)]$ , ou seja, se a resistência  $R_2$  for  $10M\Omega$ ,  $R_1$   $1K\Omega$  e  $V_e$   $1mV$ , então a tensão de saída  $V_s$  será igual a:

$$V_s = [1 + (1.000.000/1.000)] * 0,001$$

$$V_s = (1 + 1.000) * 0,001$$

$$V_s = 1.001 * 0,001$$

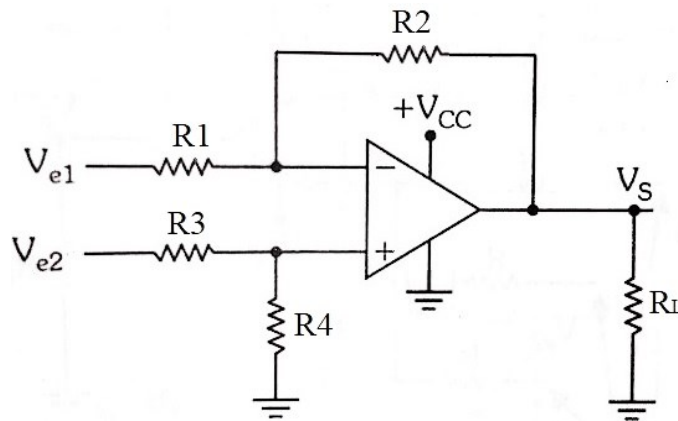
$$V_s = 1,001 V$$

Ou seja, o ganho de tensão é 1.001 vezes a tensão de entrada.

### 3.3.2 Amplificador diferencial

Conforme Albuquerque e Seabra (2009), este amplificador tem a função de amplificar a diferença, ou subtrair, entre duas tensões.

**Figura 13** - circuito do amplificador diferencial



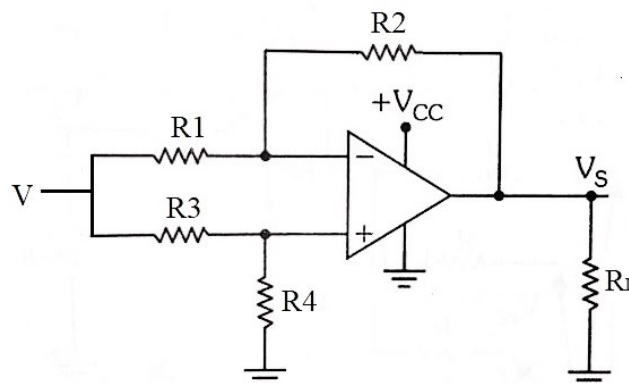
**Fonte:** Adaptada de ALBUQUERQUE; SEABRA, 2009, p.46.

A função que determina a tensão  $V_s$  de saída é dada por:

$$V_s = \frac{R1 \cdot R4 \cdot V_{e2} - R2 \cdot R3 \cdot V_{e1}}{R1 \cdot R3} \quad (9)$$

Fazendo  $V_{e1} = V_{e2} = V$ , tem-se a seguinte configuração:

**Figura 14** - configuração do amplificador diferencial



**Fonte:** : Adaptada de ALBUQUERQUE; SEABRA, 2009, p.46.

A função que determina a tensão de saída  $V_s$  é dada por:

$$V_s = \frac{(R1 \cdot R4 - R2 \cdot R3) \cdot V}{R1 \cdot R3} \quad (10)$$

### 3.4 Reatância

A reatância ( $X$ ) é dada em ohms ( $\Omega$ ) e assim como a resistência, se faz presente nos circuitos de corrente alternada, atuando como um dos fatores que se “opõe” a passagem da corrente elétrica. Existem dois tipos de reatância que podem ser percebidos nos circuitos quando um efeito ligado a elas ocorre.

A reatância capacitiva ( $X_c$ ) é ligada a presença de um efeito capacitivo gerado pela presença de um capacitor e depende da frequência de entrada. Assim podemos estabelecer a fórmula:

$$X_c = \frac{1}{2 \cdot f \cdot C} \quad (11)$$

De tal forma  $X_c$  indica a reatância capacitiva,  $f$  a frequência da tensão alternada e  $C$  a capacitância do capacitor.

A reatância indutiva ( $X_i$ ), é ligada a presença de um efeito indutivo (ocasionado pela presença de um indutor), a mesma pode ser calculada através da fórmula:

$$X_i = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot L \quad (12)$$

Onde  $X_i$  é a reatância indutiva,  $f$  a frequência da tensão e  $L$  a indutância da bobina.

Vale ressaltar que enquanto circuitos de corrente contínua os capacitores abrem o circuito e as bobinas (indutores) fecham o circuito. Portanto, para circuitos em corrente contínua, frequência igual a zero, a reatância indutiva será nula, e a reatância capacitiva infinita.

### 3.5 Impedância

Segundo Torres (2009, p. 85), “a impedância é toda oposição à passagem da corrente elétrica. Em princípio, a impedância é a soma da resistência, da reatância capacitiva e da reatância indutiva de um circuito”. O símbolo de impedância é indicado pela letra  $Z$ .

Os conceitos de reatância e impedância serão, mais adiante, utilizados para a determinação da equação que demonstra como a variação da capacitância, devido a mudança do meio, influencia no circuito do sensor.

#### 4. Arduino

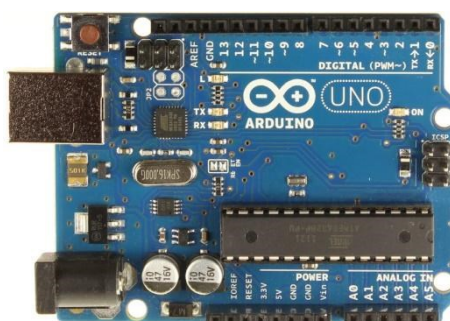
Segundo Neto e Oliveira (2019, p. 166), “Microcontroladores são CIs que possuem internamente, dentro do mesmo encapsulamento, o processador, as memórias, as portas de entrada e saída e os periféricos.”

VANÇAN (2017, p. 19) apud (FILHO, 2014), explica que os microcontroladores estão praticamente em todos os lugares: automóveis, aviões, brinquedos, tablets, etc. São dispositivos programáveis, em sua maioria auto-contidos (sistemas embarcados ou embutidos), que possuem um sistema computacional completo em um chip.

Dentro de um único encapsulamento CPU encontram-se memória, entradas e saídas de dados, temporizadores, relógios internos, entre outros Hardwares específicos. Observe que em termos de composição interna todo microcontrolador possui elementos básicos, sendo eles: Processador, Unidade de Controle, Conjunto e instruções, Registradores, Memória, Barramento de comunicação. Deste modo, ao utilizá-los em conjunto pode-se ordenar funções programáveis para serem executadas pelo dispositivo.

O termo microcontrolador é utilizado para descrever sistemas mínimos que possuem uma CPU (Central Process Unit, que traduzida significa Unidade Central de processamento), memória e circuitos de entrada e saída, como um pequeno computador. Dessa maneira a plataforma arduino também é classificada como microcontrolador e plataforma de computação física.

**Figura 15** - Placa do Arduino Uno

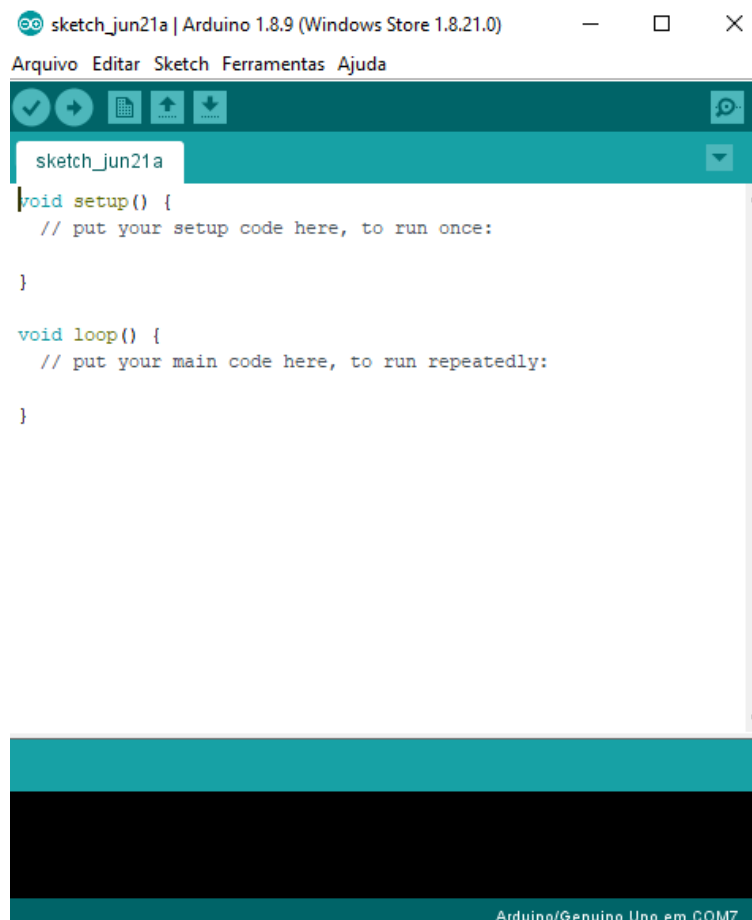


**Fonte:** <<https://store.arduino.cc/usa/arduino-uno-rev3>>. Acesso em fevereiro de 2021.

A definição de plataforma de computação física significa que é um sistema que pode interagir com seu ambiente externo através do hardware e do software por ele utilizado. Seguindo esse conceito, para que o arduino faça o que se quer é necessário programá-lo com a utilização de um software, a IDE (Integrated Development Environment, que traduzida significa Ambiente de Desenvolvimento Integrado). O ambiente de desenvolvimento open source (Traduzido significa código aberto), é baseado na linguagem C.

Conforme Neto e Oliveira (2019, p. 166), “Já o código aberto possibilita que qualquer usuário da plataforma possa utilizar a IDE de programação sem custos, podendo desenvolver novos projetos ou realizar alteração nos códigos já existentes para testes de equipamentos ou em seu produto final.”

**Figura 16** – Tela da interface de programação IDE Arduino



**Fonte:** *print screen* do software de programação do Arduino.

Dentre as vantagens apontadas pelo uso de microcontroladores podemos destacar que são reprogramáveis, tornando mais simples e prático a projeção de sistemas controlados. VANÇAN (2017, p. 20) ainda destaca o atributo positivo de que dentro de um único encapsulamento CPU encontram-se memória, entradas e saídas de dados, temporizadores, relógios internos, entre outros Hardwares específicos, além de serem baratos e de variada aplicabilidade. Ao Arduino também serão conectados os dispositivos de entrada e de saída pelos quais ele irá interagir com o ambiente externo. Com a utilização desta plataforma é possível a confecção de uma infinidade de projetos, sejam eles interativos ou independentes. A ela podem ser conectados uma série de micro controladores, que permitem o contato com o meio e amplia as possibilidades de inventos, protótipos utilizáveis e funcionais.

## **5. SENSOR DE PRESENÇA CAPACITIVO**

O sensor de presença capacitivo é um equipamento capaz de sentir a variação da capacitância quando um corpo se aproxima da região onde o campo elétrico está formado devido as suas placas.

O funcionamento do sensor pode ser dividido em três etapas: Modulação, detecção e amplificação.

### **5.1. Modulação**

Essa etapa é responsável em inserir um sinal de tensão variável no capacitor e no amplificador operacional. Esse sinal será introduzido pelo microcontrolador Arduino. O sinal de tensão variável que alimenta o amplificador pode ter qualquer formato, porém, por praticidade, a tensão fornecida pelo Arduino terá o formato de onda quadrada.

O Arduino, usando sua saída digital, é programado para gerar um sinal de tensão na forma de onda quadrada, sendo que a frequência desse sinal poderá ser modificada durante a apresentação do experimento.

Como visto na equação (10), a reatância do capacitor é inversamente proporcional a frequência, portanto, se introduzirmos um sinal de tensão contínuo no capacitor, a reatância tenderá ao infinito, impossibilitando ao amplificador operacional



realizar a amplificação da variação da capacitância, como pode ser visto na equação (14).

Abaixo o programa com a rotina para aplicar o sinal de onda quadrada:

**Figura 17** – Trecho do código desenvolvido pelo autor na interface de programação IDE Arduino

```

SENSOR_PRESENCIA
1 int saida_variavel = 3;           //Define o pino 3 do Arduino para introduzir a onda quadrada.
2 float frequencia = 0;           //Define a variável frequência como ponto flutuante.
3 float tempo;                    //Define a variável tempo como ponto flutuante.
4 float tempo_pulso;              //Define a variável tempo_pulso como ponto flutuante.
5
6 void setup() {
7   pinMode(saida_variavel, OUTPUT); //Define o pino 3 com saída.
8   Serial.begin(9600);            //Inicia a comunicação serial entre o Arduino e o computador.
9   Serial.println("Digite o valor da frequência desejada: "); //Imprime a mensagem entre aspas no Serial Monitor.
10  if (Serial) {                  //Verifica se o Serial Monitor foi iniciado.
11    while (frequencia == 0) {    //Se o Serial Monitor foi iniciado e enquanto a frequência é semelhante a zero
12      //ele aguarda o novo valor de frequência.
13      frequencia = Serial.parseFloat(); //Converte o valor digitado no Monitor Serial, que é uma String, em ponto flutuante e
14      //atribui o valor para a variável frequência.
15    }
16    Serial.print("Frequência: "); //Imprime na tela do Monitor Serial a mensagem entre aspas.
17    Serial.println(frequencia);   //Imprime na tela do Monitor Serial, após a mensagem anterior, o valor da frequência que
18    //havia sido digitada no Monitor Serial.
19  }
20  tempo = 1 / frequencia;         //Define o período da onda quadrada.
21  tempo_pulso = (tempo / 2.0);    //Define o tempo da parte ativa e inativa da onda quadrada.
22 }
23
24 void loop() {
25   digitalWrite(saida_variavel, HIGH); //Ativa o pino 3 do Arduino, ou seja, aplica 5V no capacitor e nas entradas do amplificador operacional.
26   temporizar();                      //Aguarda o tempo_pulso, ou seja, mantém a saída em 5V durante o tempo tempo_pulso.
27   digitalWrite(saida_variavel, LOW); //Desativa o pino 3 do Arduino, ou seja, aplica 0V no capacitor e nas entradas do amplificador operacional.
28   temporizar();                      //Aguarda o tempo_pulso, ou seja, mantém a saída em 0V durante o tempo tempo_pulso.
29 }
30
31
32 void temporizar() {
33   if (tempo_pulso >= 0.0081915) {    //Verifica se tempo_pulso é maior ou igual a 8,1915 ms. Se a condição for verdadeira,
34     //a rotina abaixo é aplicada.
35     delay(tempo_pulso * 1000.0);     //A função Delay é uma rotina de espera e o tempo dessa espera é o argumento entre parênteses,
36     //e esse argumento tem de estar em milissegundos, então, multiplica o período por 1000.
37   }
38   else {
39     delayMicroseconds(tempo_pulso * 1000000.0); //Se a condição do "if" não for verdadeira, então a rotina abaixo é aplicada.
40     //Como a função Delay para tempos menores que 8,1915 ms fica instável, então, se o tempo_pulso for
41     //menor a função DelayMicroseconds é aplicada. Essa rotina é igual a Delay, porém o argumento
42     //é em microssegundos, então, multiplica o período por 1000000.
43   }
44 }

```

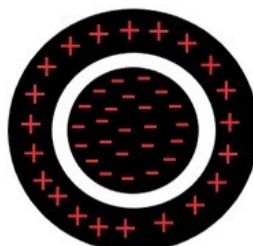
*Fonte:* print screen do software de programação do Arduino.

## 5.2. Detecção

Essa etapa é responsável por detectar a variação da capacitância. Consiste na mudança da constante dielétrica devido a inserção de um corpo na região próxima as placas do capacitor.

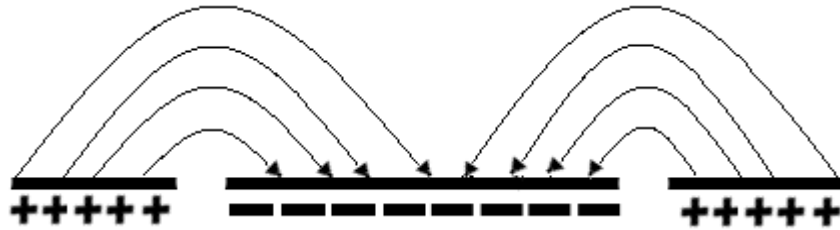
As placas do capacitor são formadas por dois círculos concêntricos, formando um campo elétrico curvilíneo, conforme figuras abaixo.

**Figura 18** – Esquema das placas de um capacitor



Fonte: O autor, 2021.

**Figura 19** – Esquema do campo elétrico curvilíneo formado pelas placas de um capacitor



Fonte: O autor, 2021.

Aplicando-se um sinal de tensão variável em frequência constante, quando um corpo atravessar as linhas de campo elétrico, a capacitância mudará, devido a mudança do dielétrico, conforme equação (5), Logo, a reatância também mudará, conforme equação (10).

Então, a detecção do corpo próximo ao sensor é realizada através da mudança da reatância, conforme pode ser observado na equação (13).

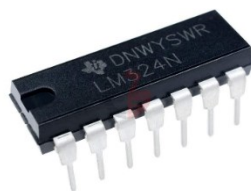
É importante ressaltar que a reatância capacitiva é também chamada de impedância capacitiva ( $Z_c$ ).

### 5.3. Amplificação

Essa etapa é responsável por amplificar a variação da capacitância, pois quando um corpo atravessa o campo elétrico, a mudança na capacitância do capacitor é muito pequena, sendo imperceptível, portanto, é necessário aumentar, ou amplificar, esse sinal.

Para amplificar a variação é usado o componente eletrônico chamado de amplificador operacional.

**Figura 20-** Amplificador operacional

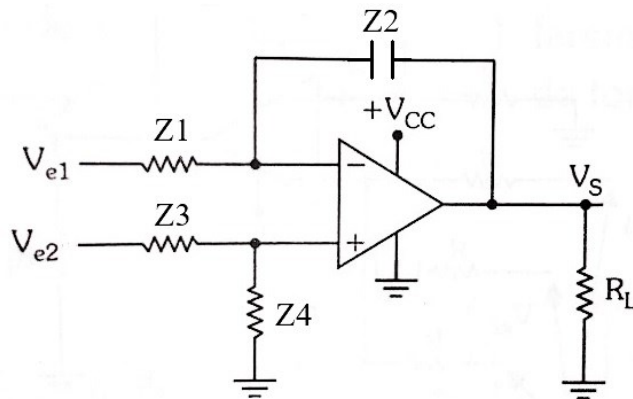


Fonte: <<https://www.amazon.in/Generic-LM324N-LM324-Power-14DIP/dp/B01E910MGW>>. Acesso em fevereiro de 2021.

Existem diversos amplificadores operacionais com variadas especificações. Para este trabalho foi usado o LM324.

Para detectar a variação na capacitância, foi utilizado o amplificador na configuração diferencial, conforme esquema abaixo. Devido ao sinal de alimentação ser variável, substitui-se o símbolo R de resistência por Z de impedância, e uma resistência foi trocado por um capacitor, sendo este o sensor capacitivo.

**Figura 21** - Amplificador na configuração diferencial

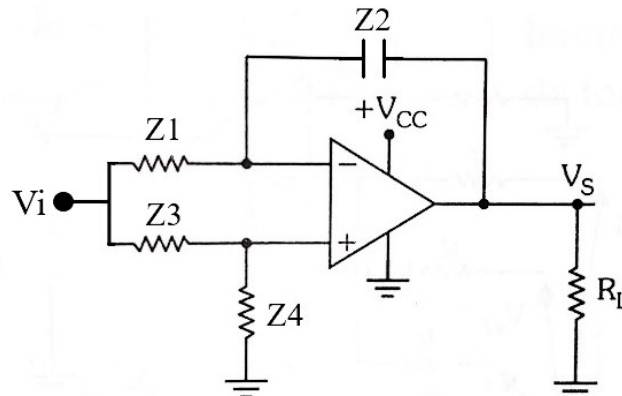


**Fonte:** Adaptada de ALBUQUERQUE; SEABRA, 2009, p.46.

No entanto, a configuração acima tem a função de amplificar a diferença das tensões de entrada, ou seja,  $V_{e2} - V_{e1}$ .

Porém, o objetivo do sensor de presença é amplificar a variação da capacitância de Z2, então,  $V_{e2}$  e  $V_{e1}$  foram ligados no mesmo ponto, ou seja, as tensões de entrada são iguais.

**Figura 22** – Esquema de sensor de presença com objetivo de amplificar a variação da capacitância



**Fonte:** adaptada de ALBUQUERQUE; SEABRA, 2009, p.46.

A equação que determina a tensão de saída  $V_s$  é:

$$V_s = \frac{(Z1 \cdot Z4 - Z2 \cdot Z3) \cdot V_i}{z1 \cdot z3} \quad (13)$$

$Z1$ ,  $Z3$  e  $Z4$  são resistências com valores fixo. Em um circuito em tensão variável, as impedâncias das resistências não mudam, sendo o valor de suas impedâncias o mesmo valor da resistência.

Apenas o capacitor irá mudar o valor de sua impedância em função da frequência e da capacitância. Como a frequência se manterá constante, somente a capacitância variará, pois quando o meio entre as placas muda devido a presença de um corpo nas proximidades, a capacitância varia, logo, a tensão de saída  $V_s$  do amplificador irá variar.

Apesar do amplificador em modo diferencial realizar a amplificação do sinal, este ainda tem um valor muito baixo para ser detectado. Neste caso, acender um LED.

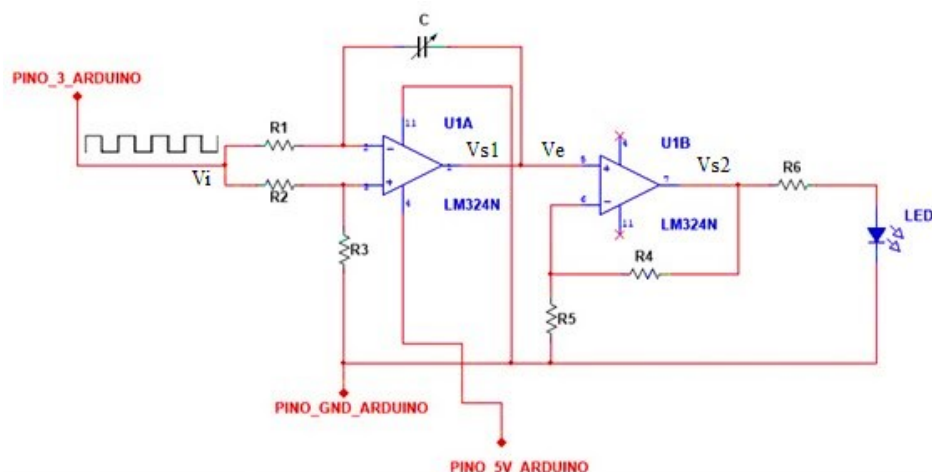
Para que o sinal na saída  $V_s$  do amplificador tenha um valor que seja possível medir ou acender um LED, será necessário amplificar novamente o sinal.

Para essa amplificação será usado o amplificador no modo não inversor, conforme esquema eletrônico abaixo.

Em  $R_L$  será colocado um Led, dessa forma, quando a tensão  $V_s$  variar, o brilho do Led mudará, assim sendo possível perceber visualmente a mudança da capacitância quando um corpo se aproxima das placas.

O circuito eletrônico do sensor de presença é mostrado abaixo.

**Figura 23** - circuito eletrônico do sensor de presença



**Fonte:** *print screen* do software de simulação de circuitos eletrônicos Multisim.

Se R1, R2 e R3 tiverem o mesmo valor de resistência, então, as impedâncias Z1, Z2 e Z3 serão de mesmo valor também. Logo, a equação que determina a tensão de saída Vs1, sendo Z1 = Z2 = Z3 = Z, será:

$$V_{s1} = \frac{(Z - Z_c) \cdot V_i}{Z} \quad (14)$$

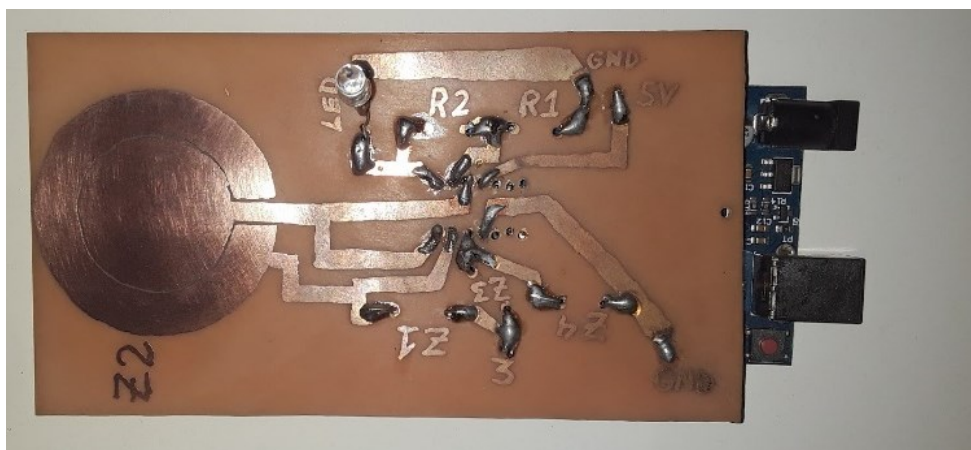
Como o valor das resistências R1, R2 e R3 é elevado, na faixa de Megaohms, o valor da tensão de saída  $V_s$  é muito baixo, portanto, ainda é necessário realizar uma amplificação para que seja possível acender o LED e também quando  $Z_c$  variar em função da mudança do meio, seja perceptível essa variação na luminosidade do LED.

Para isso, a tensão  $V_{s1}$  será amplificada no amplificador não inversor, onde a tensão de saída será:

$$V_{s2} = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \cdot V_e \quad (15)$$

Para a construção do sensor de presença capacitivo foi utilizado uma placa fenolítica. Nessa placa foi desenhado o circuito, ou seja, as trilhas por onde o sinal elétrico será conduzido, ligando as resistências, o capacitor e o Led ao amplificador operacional. A placa, então, foi acoplada ao Arduino, conforme figuras abaixo:

**Figura 24** – Vista superior do sensor de presença capacitivo acoplado ao arduino



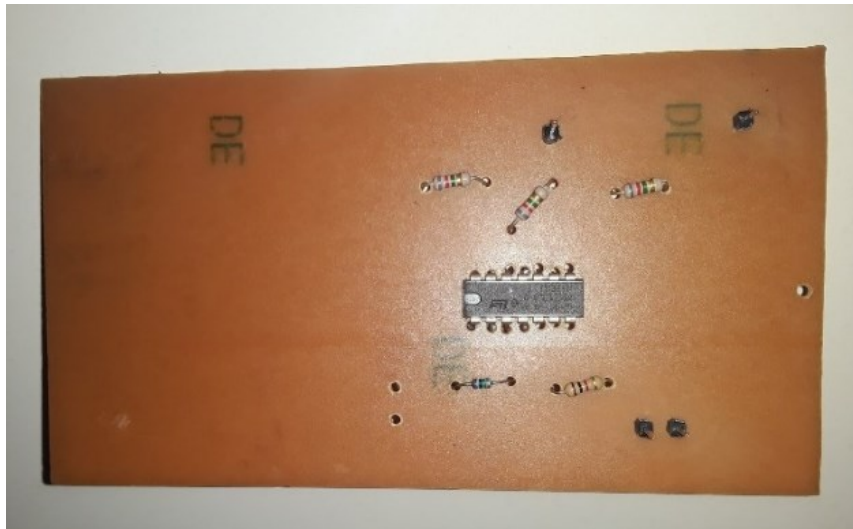
**Fonte:** O autor, 2021.

**Figura 25** - Vista lateral do sensor de presença capacitivo acoplado ao arduino



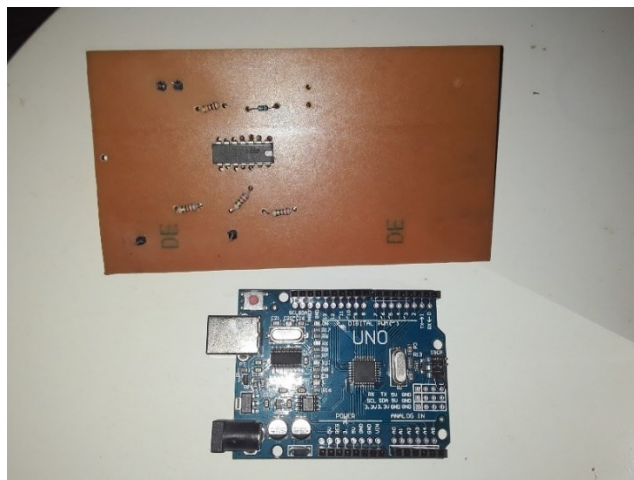
Fonte: O autor, 2021.

**Figura 26** – Vista inferior do sensor de presença capacitivo



Fonte: O autor, 2021.

**Figura 27**- Arduino e sensor de presença capacitivo antes de serem acoplados



Fonte: O autor, 2021.



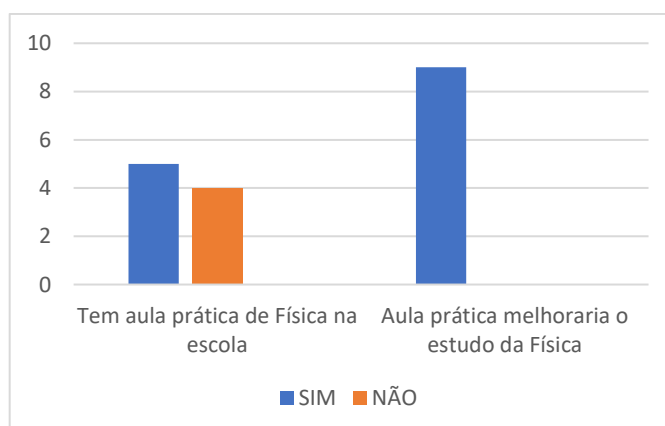
## 6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo será apresentado os dados obtidos a partir das aplicações dos questionários executados antes e depois da aula experimental, composto de uma parte objetiva e outra parte dissertativa. Salientamos que a aplicabilidade dos questionários se deu em um momento complicado das aulas presenciais devido a pandemia da covid-19, que impossibilitou a reunião da turma, sendo realizado com um número muito reduzido de alunos que se dispuseram a cooperar com esse trabalho.

O questionário pré-experimento (Apêndice A) foi aplicado previamente de forma individual e sem consulta a material ou aula de apoio, e o pós-experimento (Apêndice B) foi realizado após a aula prática do sensor de presença capacitivo, a qual foi demonstrada a montagem e funcionamento do dispositivo com a interação dos alunos pertencentes ao segundo e terceiro ano do ensino médio do Instituto Federal do Pará – campus Marabá Industrial, do curso de eletromecânica e informática. Importante destacar que os referidos alunos possuem aulas práticas das disciplinas do curso técnico, mas lamentam a ausência de experimentos na disciplina de física do curso regular, principal dificuldade dos alunos, devido ao teor abstrato dos conceitos relacionados, principalmente, a eletrostática.

A primeira pergunta do primeiro questionário, indaga sobre a presença ou não de aulas práticas de Física na escola e a última pergunta questiona o que pode ser feito para melhorar as aulas de Física, a qual teve como resposta unânime a realização de aulas práticas, os resultados estão representados no gráfico 1.

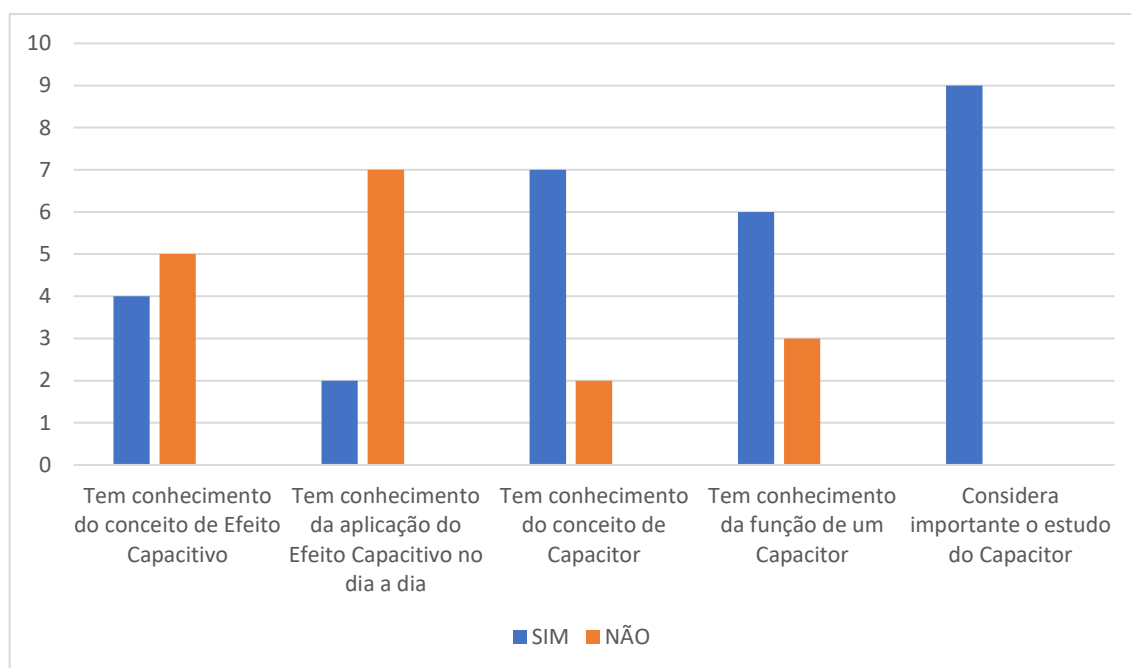
**Gráfico 1** – Questionário feito com os alunos sobre as aulas de física nas escolas, as metodologias utilizadas nas mesmas e sua efetividade.



Fonte: O autor, 2021.

Outros questionamentos realizados nesse questionário dizem respeito aos conhecimentos gerais dos alunos sobre efeito capacitivo e sua aplicabilidade no cotidiano, capacitor e suas funções e sobre a importância de seus estudos. Os resultados encontram-se ilustrados no gráfico 2.

**Gráfico 2** – Respostas dos alunos ao questionário referente a conhecimentos gerais sobre efeito capacitivo, capacitores e a importância do estudo dos mesmos.



Fonte: O autor, 2021.

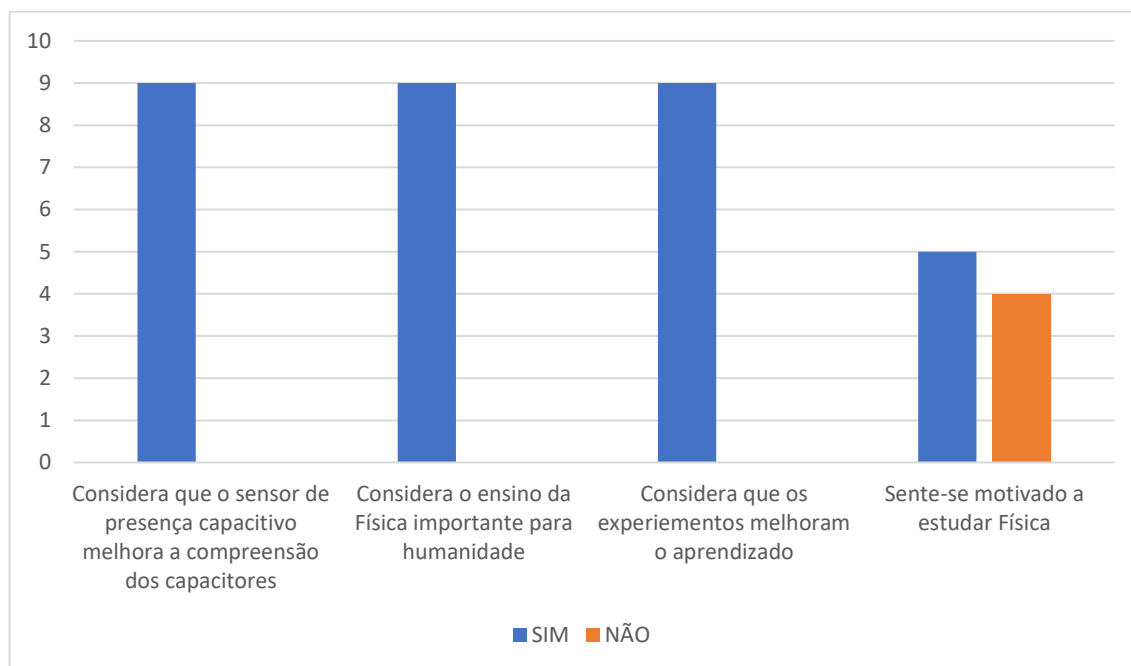
Observa-se que há um conhecimento do conceito e função do capacitor, mas pouco conhecimento do efeito capacitivo e sua aplicabilidade, além disso, mesmo aqueles que afirmaram, positivamente, conhecer as funções do capacitor, de fato, não justificaram ou não deram respostas corretas na parte dissertativa do questionário – foram observadas respostas como “perceber a variação da capacitância do meio”, “estabilizar a corrente elétrica” ou “não me lembro”- o que leva a interpretar o conhecimento raso dos alunos acerca desses dispositivos.

O questionário realizado após o experimento interroga se o aluno considera que o sensor de presença capacitivo melhora a compreensão do estudo de capacitores e se os experimentos melhoram as aulas de Física, além disso é questionado a importância do estudo da Física para o desenvolvimento da



humanidade e sobre a motivação de seu estudo. Os resultados estão representados no gráfico 3.

**Gráfico 3** – Questionário feito com os alunos para avaliarem a efetividade do material didático bem como o modo como este permite ver a física no dia a dia.



Fonte: O autor, 2021.

É importante salientar que 4/9 não se sentem motivados a estudar física justificaram a resposta pela carência de aulas práticas e excesso de teoria. Conforme resposta unânime dos alunos (Considera que os experimentos melhoram o aprendizado), nota-se a necessidade da aula prática para compreensão e manutenção do interesse do aluno no conteúdo executado.

## 7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo apresentar uma proposta de experimento que busque conciliar os estudos teóricos da física no ensino médio com o uso prático de seus conceitos aplicados ao cotidiano e suas tecnologias. Essa concepção é resultado de um longo processo histórico de reformulações do ensino no país, que no decorrer da sua evolução sempre prevaleceu a ministração de aulas expositivas ao invés de demonstrativas, desde o Brasil Colônia, o qual a educação era voltada para as artes humanísticas ligado aos jesuítas até os dias atuais, onde o ensino prático encontra-se restrito aos Institutos Federais (antigos CEFET's). No entanto, já na república velha, Rui Barbosa defendia a necessidade de instigar no aluno o gosto pela disciplina por meio da orientação para a observação e a experimentação, atualmente, essa tese possui aporte teórico de vários estudiosos e, principalmente, nas teorias de Ausubel sobre a aprendizagem, que considera ser imprescindível uma situação de ensino potencialmente significativa, planejada pelo professor, que leve em conta o contexto no qual o estudante está inserido e o uso social do objeto a ser estudado.

Nesse contexto, o projeto teve esse propósito, aliando os conceitos de campo elétrico, capacitor, amplificador, impedância, reatância e arduino aos equipamentos que fazem parte do nosso dia a dia, por meio da construção de um Sensor de Presença Capacitivo, um dispositivo que capta a variação da capacitância mediante aproximação dos corpos, dessa forma, variando a impedância do circuito no qual o sensor está inserido. Essa perturbação no circuito, que é alimentado pelo arduino, o qual insere no circuito uma tensão variável no formato de onda quadrada, é amplificada gerando uma mudança na intensidade do brilho de um LED, no qual o aluno poderá perceber visualmente a variação da capacitância. O funcionamento divide-se em três etapas: Modulação, detecção e amplificação. Tal experimento, auxilia na condução das aulas, estimulando a curiosidade e motivação dos discentes, cuja pesquisa realizada com os alunos, através dos questionários, comprova sua aceitação como metodologia de ensino e como parte essencial do aprendizado, sendo inclusive motivação para a unanimidade dos estudantes que participaram do estudo.

Portanto, pode-se concluir que modelos experimentais que reforçam os conceitos teóricos ministrados em aulas, tornam o aprendizado mais eficiente e ativo, despertando habilidades nos alunos que dificilmente seriam reavivados em uma aula

expositiva. Apesar de demandar materiais, estrutura laboratorial e um preparo mais aprimorado da aula, é de extrema relevância reconhecer a importância dessa metodologia, tendo como perspectiva aperfeiçoar e expandir tal modelo para experimentos futuros, visando auxiliar o processo de conhecimento de outros conceitos teóricos e, muitas vezes abstratos, da física.

Afinal, é através da superação das dificuldades e da percepção das necessidades motivacionais dos alunos, que se torna possível a condução do aprendizado de forma mais eficaz.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, R.O.; SEABRA, A.C. Utilizando Eletrônica com AO, SCR, TRIAC, UJT, PUT, CI 555, LDR, LED, FET e IGBT. 1. ed. São Paulo: Érica, 2009.

AMARAL, Ivan A. Conhecimento formal, experimentação e estudo ambiental. *Ciência & Ensino*, n. 3, p. 10-15, dez. 1997.

ARAUJO, Mauro Sérgio Teixeira de; ABIB, Maria Lúcia Vital dos Santos. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. *Rev. Bras. Ensino Fís.*, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, June. 2003.

AUSUBEL, David. *Educational Psychology: A Cognitive View*. New York, Holt, Rinehart and Winston, 1968.

AUSUBEL, David. *Aquisição e retenção de conhecimentos: uma perspectiva cognitiva*. Lisboa: Plátano Edições Técnicas, 2003.

AUSUBEL, David. *A Aprendizagem Significativa: A Teoria de David Ausubel*. São Paulo: Moraes, 1982.

BAZIN, M. Three years of living science in Rio de Janeiro: learning from experience. *Scientific Literacy Papers*, 67-74. 1987.

DA SILVA, S de C R.; 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, n. 1, p. 36-42, 2014.

DA ROSA, C. W; DA ROSA, A. B. O ensino de ciências (Física) no Brasil: da história às novas orientações educacionais. *Revista Ibero-americana de Educação*. ISSN: 1681-5653 n.º 58/2 – 15/02/12.

DELIZOICOV, Demétrio. Problemas e Problematisações. In: PIETROCOLA, M. (org.). *Ensino de Física? Conteúdo, metodologia e epistemologia numa concepção integradora*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 2002.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A. *Metodologia do ensino de ciências*. São Paulo: Cortez, 1994.

DELIZOICOV, D.; ANGOTTI, J. A; PERNAMBUCO, M. *Ensino de ciências: fundamentos e métodos*. 3. ed. São Paulo: Cortez, 2002.

DIOGO, R. C; GOBARA, S. T. Educação e ensino de Ciências Naturais/Física no Brasil: do Brasil Colônia à Era Vargas. *Revista Brasileira de Estudos Pedagógicos*. v. 89, n. 222, p. 365-383. Brasília, maio/ago. 2008.

DORNELES, Pedro Fernando Teixeira. *Integração entre atividades computacionais e instrumentais como recurso instrucional no ensino de eletromagnetismo em Física Geral*. Porto Alegre: UFRGS, 2010. Tese de Doutorado.

DORNELES, Pedro Fernando Teixeira. Investigação de ganhos na aprendizagem de conceitos físicos envolvidos em circuitos elétricos por usuários da ferramenta computacional Modellus. Porto Alegre: UFRGS, 2005. Dissertação de Mestrado.

J. Silva e J. Souza, O ensino de Física em Botucatu, *Revista Botucatuense de Ensino de Física*, v. 97, n. 4, p. 1103-1125, 2010.

FERREIRA, Norberto Cardoso. *Proposta de laboratório para a escola brasileira: um ensaio sobre a instrumentação no ensino de Física*. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências) - IFUSP/FEUSP. São Paulo, 1978.

HALLIDAY, David. Fundamentos de Física, Vol. 3: Eletromagnetismo. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

HIGA, Ivanilda; OLIVEIRA, Odisséa Boaventura de. A experimentação nas pesquisas sobre o ensino de Física: fundamentos epistemológicos e pedagógicos. *Educ. rev.*, Curitiba, n. 44, p. 75-92, June 2012. Disponível em: [https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0104-40602012000200006](https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0104-40602012000200006) (Acesso em setembro, 2020).

HONORATO, T. Reforma Sampaio Dória: professores, poder e figurações. *Educação & Realidade*. Porto Alegre, v. 42, n. 4, p. 1.279-1.302, out./dez., 2017.

MOREIRA, Marco Antonio. O que é afinal, aprendizagem significativa? Aula Inaugural do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências Naturais. Instituto de Física. Cuiabá: UFMT. 2010. (mimeo). Disponível em: <http://moreira.if.ufrgs.br/oqueeafinal.pdf>.

MOREIRA, Marco Antonio e MASINI, Elcie Franco Sazano. *Aprendizagem significativa: a teoria de David Ausubel*. 2ª ed. São Paulo: Centauro Editora, 2006.

MOREIRA, Marco Antonio. *Aprendizagem significativa*. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1999.

MOREIRA, Marco Antonio. *Uma Abordagem Cognitivista ao Ensino da Física*. Porto Alegre, Ed. da Universidade, UFRGS, 1983.

MORAES, José Uibson Pereira. Junior; Silva, Romualdo S. Junior. Experimentos didáticos no Ensino de Física com foco na Aprendizagem Significativa. *Latin American Journal of Physics Education*. Matanzas: Junho, 2015. ISSN 1870-9095. versão online. Disponível em: <http://www.lajpe.org>. Acesso em: 30 out. 2019.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. *Curso de Física Básica*. 1ª ed. São Paulo: Edgar Blücher, 1997.

ROCHAL, Paolla Rolon; CARVALHO, Joyce Almeida de Sena; RODRIGUEZ, Margarida Vitória. DIREITOS HUMANOS: EDUCAÇÃO UM DIREITO NA PRIMEIRA REPÚBLICA DO BRASIL. Congresso Internacional de Direitos Humanos. Universidade Federal do Mato Grosso do Sul. 2017. Disponível em: [https://cidh2017.files.wordpress.com/2017/11/ar\\_gt4-17.pdf](https://cidh2017.files.wordpress.com/2017/11/ar_gt4-17.pdf)

SILVA, Valter Aparecido. História e Propriedades dos Eletretos. Universidade Estadual de Campinas Instituto de Física “Gleb Wataghin”Campinas. Campinas.

TORRES, GABRIEL. Eletrônica: para autodidatas, estudantes e técnicos. 1. Ed. Rio de Janeiro: Novaterra, 2009.

NETO, ARLINDO. OLIVEIRA, YAN. Eletrônica Analógica e Digital Aplicada a IOT: Aprendendo de maneira descomplicada. 1. Ed. Rio de Janeiro: Alta Books, 2019.