

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE EDUCAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIA E MATEMÁTICA**

TIAGO RODRIGUES BARROS

**PRÁTICAS EXPERIMENTAIS DE FÍSICA A DISTÂNCIA: DESENVOLVENDO UMA
APLICAÇÃO COM ARDUÍNO PARA A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE
MILLIKAN REMOTAMENTE.**

Maceió
2018

TIAGO RODRIGUES BARROS

**PRÁTICAS EXPERIMENTAIS DE FÍSICA A DISTÂNCIA: DESENVOLVENDO UMA
APLICAÇÃO COM ARDUINO PARA A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE
MILLIKAN REMOTAMENTE.**

Dissertação de Mestrado
apresentada ao programa de Pós-
Graduação em Ensino de Ciências e
Matemática da Universidade Federal
de Alagoas, como requisito para
obtenção do Título de Mestre em
Ensino de Ciências e Matemática,
Área de Concentração - Ensino de
Física,

Orientador: Prof. Dr. Wandearley da
Silva Dias.

Maceió
2018

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central

Bibliotecária Responsável: Helena Cristina Pimentel do Vale – CRB4 – 661

- B277p Barros, Tiago Rodrigues.
Práticas experimentais de física a distância: desenvolvendo uma aplicação com Arduino para a realização do experimento de Millikan remotamente / Tiago Rodrigues Barros. – 2018.
89 f. : il.
- Orientador: Wandearley da Silva Dias.
Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Universidade Federal de Alagoas. Centro de Educação. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Maceió, 2018.
- Bibliografia: f. 54-56.
Apêndices: f. 57-74.
Anexos: f. 75-89.
1. Matemática – Estudo e ensino. 2. Estratégia didática. 3. Tecnologia educacional. 4. Internet na educação. I. Título.

CDU: 372:51

TIAGO RODRIGUES BARROS

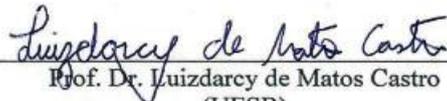
“Práticas experimentais de Física a distância: desenvolvimento de uma aplicação com arduino para realização do experimento de Millikan remotamente”

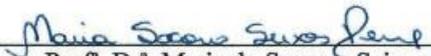
Dissertação apresentada à banca examinadora como requisito parcial para a obtenção do Título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática – Subárea de Concentração “Ensino de Física”, pelo Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática do Centro de Educação da Universidade Federal de Alagoas, aprovada em 26 de julho de 2018.

BANCA EXAMINADORA


Prof. Dr. Wandearley da Silva Dias - Orientador
(IF; PPGECIM/CEDU/UFAL)


Prof. Dr. Kléber Cavalcanti Serra
(IF; PPGECIM/CEDU/UFAL)


Prof. Dr. Luizdarcy de Matos Castro
(UESB)


Prof.^a Dr.^a Maria do Socorro Seixas Pereira
(IF/UFAL)

AGRADECEIMENTOS.

Inicialmente agradeço ao prof. Dr. Wandearley da Silva Dias que, desde minha graduação vem me apoiando e incentivando, e que gentilmente aceitou me orientar nesta jornada que ora termina.

Agradecer, de igual forma, a meus pais que durante toda minha vida sempre me apoiaram e se dedicaram para que conseguisse alcançar meus objetivos.

Agradecer aos ilustres e indispensáveis colegas que tanto contribuíram para que este trabalho chegasse ao fim e com êxito. Explicitamente, agradeço a Túlio Romero que me indicou às linguagens de programação e literatura dirigida ao meu objeto educacional, a Helton Ferreira Albuquerque Medeiros, estimado colega de trabalho e meu compadre, que muito contribuiu com dicas e sugestões sobre a estrutura mecânica do projeto e, a Gean da Silva Santos, também meu colega de trabalho, que me ajudou na correção e revisão dos programas desenvolvidos, melhorando seu desempenho. A estes meus mais honestos e profundos agradecimento.

Aos meus colegas de curso que durante as aulas contribuíram com as discussões apropriadas para um melhor entendimento sobre os processos de ensino e aprendizagem.

À minha esposa que igualmente me apoiou durante toda esta jornada.

Por fim, a DEUS, que me dá sustentação e fé para continuar, principalmente nos momentos mais penosos da vida.

RESUMO

A introdução de aulas práticas como estratégia didática para motivar e despertar o gosto pelas matérias de ciências, especialmente de física e química, é comumente apontada como importante estratégia e de grande impacto no processo de ensino aprendizagem. Entretanto, existem várias dificuldades que podem ser relacionadas ao uso desta metodologia, como exemplo podemos citar a falta de estrutura (de salas de laboratório e equipamentos), tempo para elaboração e preparação das aulas entre outros. Considerando esta situação, grupos de pesquisadores na área de ensino vêm propondo novas atitudes e práticas docentes como estratégias para tornar o aprendizado dessas disciplinas, mais atrativas e substanciais sugerindo como alternativas a utilização de materiais de baixo custo nas aulas experimentais e, mais recentemente, a inclusão de experimentos remotos onde uma instituição possuidora desses equipamentos os disponibiliza através da internet. Neste último, mecanismos de automação possibilitam que um operador externo à instituição possa realizar os procedimentos experimentais. Neste trabalho, abordaremos esta última proposta como alternativa para a inserção das aulas experimentais. Apresentamos um sistema baseado na plataforma Arduino capaz de permitir a realização do experimento de Millikan para a determinação da carga elementar do elétron à distância, composto por um circuito atuador e software de comando. Para que pudéssemos verificar a viabilidade técnica e didática da proposta, realizamos uma aplicação com um grupo de alunos de uma escola da rede estadual de ensino e, diante dos resultados obtidos acreditamos que esta proposta pode configurar como uma alternativa viável para a inclusão das aulas experimentais.

Palavras chave: ensino, estratégia didática, materiais de baixo custo, automação.

ABSTRACT

The introduction of practical classes as a didactic strategy to motivate and awaken a taste for science subjects, especially physics and chemistry, is commonly pointed out as an important strategy and of great impact in the teaching / learning process. However, there are several difficulties that may be related to the use of this methodology, such as lack of structure (laboratory rooms and equipment), time for preparation and preparation of classes, among others. But even with such limits many groups of researchers in the field of teaching have been proposing new attitudes and teaching practices as strategies to make learning these subjects more attractive and substantial. In terms of experimental classes many groups suggest the use of low cost materials as alternatives to the lack of "laboratory equipment" and, more recently, the inclusion of remote experiments where an institution with such equipment makes them available through the internet. In the latter, automation mechanisms allow an operator outside the institution to perform the experimental procedures. In this work, we will approach this last proposal as an alternative for the insertion of the experimental classes. We present a system based on the Arduino platform capable of realizing the Millikan experiment for the determination of the elementary charge of the electron at a distance, composed by an actuator circuit and command software. In order to verify the technical and didactic feasibility of the proposal, we carried out an application with a group of students from a school in the state education network and, in view of the results obtained, we believe that this proposal can be a viable alternative for the inclusion of experimental classes.

Keywords: teaching, didactic strategy, low cost materials, automation.

LISTA DE FIGURAS.

FIGURA 1 - PLACA DE PROTOTIPAGEM ARDUÍNO UNO R3.	32
FIGURA 2– IMAGEM ILUSTRATIVA DA PLACA DO CIRCUITO DE ATUAÇÃO. (A) VISTA FRONTAL; (B) VISTA LATERAL DIREITA.	33
FIGURA 3, (A) ARDUINO; (B) - INTERFACES DE DESENVOLVIMENTO PROCESSING.....	33
FIGURA 4 - NA FIGURA A TEMOS A INTERFACE DE COMANDO PARA A PROPOSTA EXPERIMENTAL DE VERIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO DE DOIS CONDUTORES PARALELOS QUANDO PERCORRIDOS POR CORRENTE ELÉTRICAS. NA FIGURA B, TEMOS A INTERFACE DE COMANDO PARA A REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN.	34
FIGURA 5 - SISTEMA PARA PULVERIZAÇÃO DAS GOTÍCULAS DE ÓLEO NO APARATO DE MILLIKAN...	35
FIGURA 6 - SOFTWARE DE CONEXÃO REMOTA TEANVIEWER. INTERFACE INICIAL.	36
FIGURA 7 – MONTAGEM EXPERIMENTAL DE FIOS PARALELOS.	37
FIGURA 8 - REPRESENTAÇÃO DA FORÇA MAGNÉTICA PRODUZIDA POR UM CAMPO MAGNÉTICO SOBRE UM PORTADOR DE CARGA.....	38
FIGURA 9 - MONTAGEM UTILIZADA POR MILLIKAN PARA SUA INVESTIGAÇÃO SOBRE A CARGA DO ELÉTRON.	39
FIGURA 10 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA SIMPLIFICADA DO EXPERIMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA FUNDAMENTAL PELO MÉTODO DE MILLIKAN.	39
FIGURA 11 - 1º MOMENTO DA APLICAÇÃO: ALUNOS RESPONDENDO AO QUESTIONÁRIO PRÉVIO REFERENTE AO 2º MOMENTO DA APLICAÇÃO.	44
FIGURA 12 - (1) IMAGEM DO SOFTWARE PARA REALIZAÇÃO DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN. (2) DETALHE DA IMAGEM DA WEBCAM FOCALIZANDO AS GOTÍCULAS NA CÂMARA CAPACITIVA DO APARATO EXPERIMENTAL E A GRADE MICROMÉTRICA.	45
FIGURA 13 - 2º MOMENTO DA APLICAÇÃO: FOTOS DA APLICAÇÃO: GRUPO DE ALUNOS REALIZANDO O EXPERIMENTO REMOTO. NA FOTO 1 TEMOS O GRUPO UM FORMADO POR RAPAZES DO 3º ANO “A”. NA FOTO 2 TEMOS UM GRUPO FORMADO POR GAROTAS TAMBÉM DO 3º ANO “A”. NA FOTO 3 TEMOS UM GRUPO DE GAROTAS DO 3º ANO TURMA B. NA IMAGEM 4 TEMOS UM DETALHES DO GRUPO DE ALUNOS ACOMPANHANDO A EXECUÇÃO DO EXPERIMENTO	45
FIGURA 14 - GRÁFICO DA QUANTIDADE DE CARGA ELÉTRICA PRESENTE EM CADA GOTÍCULA EM FUNÇÃO DO FATOR MULTIPLICADOR N' DEVIDO A MENOR CARGA CALCULADA.	49
FIGURA 15 - DIAGRAMA DO CIRCUITO DA PLACA DE CONTROLE.	58
FIGURA 16 - MASCARA PARA SE APLICADA NO LADO COBREDO DA PLACA DE FENOLITE.....	59

FIGURA 17 - LABELS DOS COMPONENTES (PARTE SUPERIOR DA PLACA DE FENOLITE).....	59
FIGURA 18 - DIAGRAMA DO CIRCUITO DO PULVERIZADOR.....	60
FIGURA 19 - MASCARA PARA CONFECÇÃO DAS TRILHAS DO CIRCUITO NA PLACA DE FENOLITE.....	61
FIGURA 20 - LABEL DOS COMPONENTES NA PLACA DE FENOLITE. (PARTE SUPERIOR DA PLACA) ...	61
FIGURA 21 - TELA DO USUÁRIO PARA MANIPULAÇÃO DO EXPERIMENTO.....	79
FIGURA 22 - EQUIPAMENTO PARA DETERMINAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA FUNDAMENTAL.	80
FIGURA 23 - TELA DE LOGIN DO TEAMVIEWER.	85
FIGURA 24 - IMAGEM ILUSTRATIVA DA INTERFACE DE USUÁRIO.	85
FIGURA 25 - ESQUEMAS DAS FORÇAS ATUANTES SOBRE UMA GOTÍCULA DE ÓLEO NO INTERIOR DO APARATO DE MILLIKAN. (1) FORÇAS NA AUSÊNCIA DE CAMPO ELÉTRICO (2) FOÇAS COM EXISTÊNCIA DE CAMPO ELÉTRICO ORIENTADO DA PLACA INFERIOR PARA A SUPERIOR; (3) FOÇAS COM EXISTÊNCIA DE CAMPO ELÉTRICO ORIENTADO DA PLACA SUPERIOR PARA INFERIOR.	87

LISTA DE TABELAS.

TABELA 1 - TABELA DE TEMPOS CRONOMETRADOS PARA GOTÍCULAS DE ÓLEO DENTRO DA CÂMARA DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN, GR REFERE-SE AO GRUPO; TS REFERE-SE AOS TEMPOS DE SUBIDA DA GOTÍCULA E TD AOS TEMPOS DE DESCIDA DA GOTÍCULA.	47
TABELA 2 - TABELA RESULTANTE DA PLANILHA PARA CÁLCULO DO RAIOS E DA CARGA ELÉTRICA DE CADA GOTÍCULA. (ΔS) ESPAÇAMENTO ENTRE AS LINHAS DA ESCALA MICROMÉTRICA UTILIZADO PARA TOMADA DE TEMPO POR CADA EQUIPE; (V_S E V_D) VELOCIDADES DE SUBIDA E DESCIDA RESPECTIVAMENTE; (R_S E R_D) RAIOS ESTIMADOS DAS GOTÍCULAS DURANTE A SUBIDA E DESCIDA RESPECTIVAMENTE; ($R_{MÉD}$) RAIOS MÉDIOS DE CADA GOTÍCULA; (Q) CARGA ELÉTRICA ESTIMADA PARA CADA GOTÍCULA.	48
TABELA 3 - CÁLCULOS FINAIS PARA A DETERMINAÇÃO DA CARGA ELÉTRICA FUNDAMENTAL.	49

LISTA DE QUADROS.

QUADRO 1 - RESUMO DAS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DE CADA PRÁTICA EXPERIMENTAL APONTADA POR OLIVEIRA, 2010.	27
QUADRO 2 - FIGURAS UTILIZADAS NA INTERFACE DE USUÁRIO.	73

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 PROBLEMA ALVO DO TRABALHO.	13
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	15
3.1 A validade das praticas experimentais em física à luz das teorias da aprendizagem	17
3.2 Teorias da aprendizagem para a educação a distância e o enino de física.	23
3.3 Práticas experimentais a distância: possibilidades e desafios	27
4 O PRODUTO EDUCACIONAL PROPOSTO.....	31
4.1 Descrição e finalidade do produto educacional desenvolvido.....	31
4.2 Propostas de aplicação	37
4.2.1 Condutores paralelos percorridos por corrente elétrica.	37
4.2.2 O EXPERIMENTO DE MILLIKAN	38
5. METODOLOGIA	40
5.1 Procedimentos para a aplicação.	41
5.1.3 Análise e tratamento dos dados	46
5.1.4 Avaliação da aplicação e dos resultados obtidos.	50
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.	52
REFERÊNCIAS	54
APÊNDECES	57
ANEXOS.....	75

1. INTRODUÇÃO.

Ensinar quer dizer transmitir um conhecimento a outros, propagar uma mensagem, um ideal. Porém, segundo Paulo freire, o ato de aprender precede ao de ensinar visto que foi por meio das interações histórico-sociais que o homem viu ser possível transmitir seu legado histórico, cultural e social (FREIRE, 1996), ou seja, para ensinar precisamos aprender. É nesse contexto que podemos encontrar uma possível resposta para a dificuldade de aprendizado em física por parte da maioria dos alunos no ensino básico, e até, porque não dizer, no ensino superior.

É fato que o processo de ensino está muito ligado ao modo de como aprendemos, pois tendemos de certa forma, a reproduzir esse processo. Em um modelo tradicional de escola os alunos encontram-se passivamente num determinado ambiente em que um instrutor dá as orientações de como proceder diante de um determinado problema ou situação, no qual o educando tende a, apenas, aplicar o método demonstrado pelo instrutor. Podemos assim dizer que este processo configura-se como o “modelo tradicional de ensino”

Tal conceito aplica-se a qualquer tipo de conhecimento a ser transmitido, inclusive a física. Claro que existem algumas exceções, mas, via de regra, a maioria dos professores que lecionam física continuam a dar suas aulas valendo-se dessa metodologia, com foco no desenvolvimento do raciocínio lógico matemático, na figura do professor e na transmissão de conteúdo (LUCKESI, 2005). Essa abordagem pode vir a se tornar o principal fator desestimulante para aqueles que estão entrando em contato com esta disciplina. Essa prática, contudo, não condiz com os novos modelos dinâmicos de se fazer ciência hoje em dia. Buscando atualizar os processos de ensino e aprendizagem, alguns órgãos e entidades ligados à educação sugerem novos rumos quanto à proposta do que deve ser focado no ensino básico, sendo a Lei de Diretrizes e Bases - LDB, um dos documentos que normatizam o ensino. De acordo com a atual LDB de 20 de dezembro 1996, o ensino médio terá como finalidades, dentre outras,

A consolidação e o aprofundamento dos conhecimentos adquiridos no ensino fundamental e a compreensão dos fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada

disciplina, possibilitando o prosseguimento de estudos” e ainda que, “ao final do ensino médio o aluno demonstre domínio dos princípios científicos e tecnológicos que presidem a produção moderna”. (BRASIL, 1996)

Assim, para que tais objetivos pudessem ser alcançados, foram então definidos os Parâmetros Curriculares Nacionais – PCN's (BRASIL, 2017) e os PCN+ que tratam das orientações complementares quanto às disciplinas de ciências da natureza, matemática e suas tecnologias. Esses documentos sugerem que o aprendizado nas ciências da tecnologia como a física, química, matemática e biologia sejam voltadas a produção de um conhecimento efetivo, de significado próprio e não apenas o conhecimento pelo conhecimento. Segundo o documento, a formação geral que a escola deve proporcionar a seus alunos tem como meta ampliar a compreensão que eles têm do mundo em que vivem desenvolvendo lhes competências e habilidades para o exercício da cidadania.

Observa-se, portanto, que essas competências e habilidades visam à preparação do aluno para sua vida cotidiana, para que possa ser capaz de lidar com situações reais como crises energéticas, problemas ambientais, manuais de aparelhos eletroeletrônicos, exames médicos, notícias de jornal, e assim por diante. Nessa perspectiva, a preparação do estudante não se dá somente na área de física, mas também, em conjunto com as demais áreas do conhecimento. Entretanto, entendemos que a situação atual do processo de ensino e aprendizagem não reflete muito bem a ideia central da LDB e PCN's. O já mencionado “método tradicional de ensino” se faz muito presente e frequente no ambiente educacional, sendo justificado muitas vezes em função da estrutura física da escola (falta de laboratórios de ensino) e ausência de recursos didáticos (BORGES, 2002), tempo disponível para a preparação das aulas, amplitude de conteúdos a serem abordados (MOREIRA, 2000), (ROSA e ROSA, 2005), além da baixa remuneração (LOURENCETTI, 20014).

Numa tentativa de mudar esse quadro, grupos de pesquisadores na área de ensino de física, como relatam Araújo e Abibi (ARAÚJO e ABIBI, 2003), vem propondo novas atitudes e práticas docentes como estratégias para tornar o aprendizado da física, mais atrativo e substancial. Dentre as principais propostas citam-se a revisão dos conteúdos e a serem abordados (ROSA e ROSA, 2005), (KRASILCHIK, 2000), a utilização de materiais de baixo custo como alternativa à falta de materiais específicos de laboratório (BORGES, 2002), (ARAÚJO e ABIBI,

2003) ou a utilização de simuladores virtuais em computador como alternativa à falta tanto de equipamentos quanto de ambientes laboratoriais (KALHIL e MENEZES, 2008). Outra possibilidade são os laboratórios remotos (CARDOSO, 2011), ambientes esses em que uma dada instituição que possui equipamentos para a experimentação, os disponibilizam via internet para que professores e alunos possam realizar suas aulas experimentais.

Portanto, considerando que em muitas instituições não se encontram ambientes e equipamentos destinados às atividades experimentais, neste trabalho procuraremos discorrer sobre a possibilidade de se utilizar um equipamento remoto, tendo como público alvo alunos e professores do ensino médio. Como principal objeto de aplicação apresentamos uma proposta de realização do experimento de Millikan (para determinação da carga elementar do elétron) sendo este considerado um dos dez mais belos experimentos da física (CREASE, 2006).

A escolha deste experimento se deve à sua importância para o conhecimento científico sobre a natureza da matéria, por se tratar de um conceito relacionado à física moderna e comumente não abordado no ensino médio. Ademais, tal proposta também poderia ser aplicada a um curso de graduação em física presencial ou à distância, oportunizando aos alunos de cursos superiores realizarem tal experimento.

2. PROBLEMA ALVO DO TRABALHO.

Desde que a humanidade percebeu ser possível e necessário transmitir o conhecimento; adquirido pela experiência prática diária; observou-se a necessidade de uma maior interação entre mestre e aprendiz de modo que este último aprendesse pela observação da prática do mestre ou seguindo suas orientações, originando-se assim o primeiro modelo de “escola”, modelo este que se tornou fundamental para o processo ensino aprendizagem.

Com a institucionalização dessa “escola” o mestre, doravante professor, passou a lidar com uma quantidade ainda maior de aprendizes, agora alunos, reunidos em um único espaço denominado “sala de aula”. Entretanto, a metodologia do ensino permaneceu a mesma, ou seja, professor e aluno deveriam ter uma comunicação direta, face a face, para que a tarefa de transmitir os conhecimentos

das gerações passadas às novas pudesse ser cumprida. A seu tempo, e dada a crescente demanda de alunos, essa forma de ensinar tornou-se insuficiente para cumprir com tal objetivo sendo necessário a busca por novas formas de alcançar àqueles que não podiam ir à escola, e isso se deu naturalmente à medida que as formas e meios de comunicação evoluíram tornando-se cada vez mais rápidas e eficientes, o que possibilitou serem usadas para extrapolar os muros da “escola”.

Hoje, em pleno século XXI, diante do atual cenário tecnológico, percebe-se que a tarefa de ensinar não está mais restrita a um único espaço (SERAFIM e SOUSA, 2011, p. 26). Na verdade esse espaço foi ampliado, pois com o surgimento das diversas ferramentas de comunicação como rádio, tv, mídias digitais (CD, DVD) e agora a internet, levar informação e formação a quem, por algum motivo não possa frequentar os espaços tradicionais de ensino, tornou-se cada vez mais possível e viável.

É nesse contexto que vemos, nas ultimas décadas, crescer cada vez mais o número de instituições a oferecer cursos de formação quer sejam de nível básico, profissional ou superior, na modalidade à distância – EAD. Essa modalidade de ensino tem sido empregada, principalmente por instituições de ensino superior, na formação de professores, haja vista a necessidade desse profissional. Dentre as principais carreiras docentes destacamos a do físico educador, ou professor de física, em virtude da evidente escassez de professores nessa área do conhecimento. Essa escassez pode ser explicada devido à própria situação da carreira do magistério no país, com pouco atrativo financeiro, ou pela própria característica da formação, sendo um curso tido como muito difícil e para poucos.

Mas mesmo na perspectiva do ensino a distância, uma das principais estratégias apontadas como motivadoras para o aprendizado, a experimentação, encontra barreiras para a sua utilização, pois, como se realizariam aulas experimentais a distância? Seria possível? A resposta é sim, é possível. Hoje, devido aos avanços nas tecnologias de comunicação, em especial a comunicação através da rede mundial de computadores, internet, e aos dispositivos eletroeletrônicos utilizados na automação de processos mecânicos, um equipamento pode ser manipulado/operado via acesso remoto como já demonstrado por (SOUSA, COZENDEY e PESSANHA, 2010), (SCHUHMACHER, 2004).

Percebendo então tais possibilidades, nos propomos a desenvolver uma plataforma de controle para a operação remota de equipamentos existentes em um laboratório, pois, sabemos que infelizmente não é sempre que uma instituição de ensino, em especial escolas de nível básico, dispõe de um espaço e equipamentos adequados para fazer determinados experimentos voltados para a disciplina de Física. Assim, através de nosso projeto esperamos contribuir para a superação das limitações físicas que impedem professores e alunos de melhorarem suas capacidades de ensino e aprendizagem.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.

Quando se fala em ensino de física a primeira preocupação de um professor é com a representação matemática de conceitos como força, pressão, luz, calor etc. Contudo, ensinar física, em particular para alunos do ensino médio, é procurar estabelecer vínculos entre o que eles já conhecem sobre tais conceitos com suas definições formais e, posteriormente, à sua descrição matemática, uma vez que a linguagem matemática é o principal meio utilizado pelos físicos para explicarem e/ou compreenderem os fenômenos da natureza.

No tocante aos saberes prévios dos alunos como ponto de partida para o ensino de conceitos formais da física, não há como não nos referenciarmos em Paulo Freire. Para Freire *ensinar não é transferir conhecimento*, mas sim, levar o educando a uma mudança de atitude, mudança essa que faz com que o sujeito se perceba como parte integrante da produção do saber. E nesse processo, o professor tem um papel primordial na transposição dos conhecimentos populares, pré-existentes, para a linguagem formal, científica, tornando-se uma ponte entre esse saber científico e a realidade de seus alunos. Neste sentido, concordamos com Freire em sua célebre fala “*ensinar não é transferir conhecimentos, conteúdos, nem formar é ação pela qual um sujeito criador dá forma, estilo ou alma a um corpo indeciso e acomodado*” (FREIRE, 1996).

Ao compreendermos o processo de ensino sobre essa perspectiva a aprendizagem do educando tornar-se-á mais significativa e motivadora. Entenda-se aprendizagem significativa como aquela em que o aluno possa relacionar de forma relevante o conhecimento formal, científico, com o conhecimento informal, ou seja, aquele adquirido de sua própria experiência por meio da convivência com seus

familiares e demais componentes do grupo social com os quais interage cotidianamente. Portanto, quanto mais próximo estiver o conteúdo formal da ciência de suas experiências práticas, mais sentido fará esse tipo de aprendizagem para o aluno. Diante de tal concepção, Pelizzari, Kriegl, Baron, Finck e Dorocinski contribuem para um melhor entendimento quando comentam que:

Para haver uma aprendizagem significativa são necessárias duas condições: Em primeiro lugar, o aluno precisa ter uma disposição para aprender: se o indivíduo quiser memorizar o conteúdo arbitrariamente e literalmente, então a aprendizagem será mecânica. Em segundo, o conteúdo escolar a ser aprendido tem que ser potencialmente significativo, ou seja, ele tem que ser lógico e psicologicamente significativo: o significado lógico depende somente da natureza do conteúdo, e o significado psicológico é uma experiência que cada indivíduo tem. Cada aprendiz faz uma filtragem dos conteúdos que tem significado ou não para si próprio – Grifo nosso. (PELLIZARI, KRIEGL, *et al.*, 2001-2002).

Em suma, um dado conceito/contéudo só será potencialmente significativo para um aluno se este conceito fizer parte de sua vida prática. Como exemplo, podemos citar o caso da eletricidade. De acordo com a ciência, a eletricidade é um fenômeno natural ocasionado pelo simples fato de existirem partículas subatômicas portadoras daquilo que denominamos de “carga elétrica”. No entanto essa “eletricidade” só é evidenciada quando há uma perturbação na ordem natural dessas partículas, perturbação esta que pode ser ocasionada pela simples fricção entre dois corpos distintos – é o processo de eletrização por atrito. Toda via, o conhecimento predominante sobre a eletricidade são os seus efeitos práticos. Se perguntarmos a um indivíduo qualquer, seja aluno ou não, o que é eletricidade, a resposta mais óbvia que ouviremos é: *eletricidade é um tipo de energia* ou, talvez, *é algo que dá choque*, ou ainda, *é uma força que faz as coisas funcionarem*.

Ao analisarmos estas definições podemos perceber que de fato há um conhecimento sobre o termo “eletricidade”, porém, como já frisamos, é um conhecimento mais prático. Se perguntarmos sobre a origem dessa eletricidade perceberemos que serão poucos a responderem de forma correta. Assim, de um lado temos uma compreensão fruto de séculos de pesquisas e de discussões acadêmicas, do outro, um entendimento produzido pela simples constatação

empírica, mas, se bem aproveitada, pode se tornar o gancho fundamental para a evolução do conceito formal.

Retomando o pensamento de Paulo Freire, o ato de aprender precede ao de ensinar visto que foi por meio das interações histórico-sociais que o homem viu ser possível transmitir seu legado histórico, cultural e social. Nas palavras do referido autor “*Ensinar inexistiu sem aprender e vice-versa e foi aprendendo socialmente que, historicamente, mulheres e homens descobriram que era possível ensinar*” (FREIRE, 1996, p. 26).

Dado a importância da preservação do conhecimento adquirido através da experiência diária ao longo da vida dos sujeitos, é que surgiu a necessidade de buscar meios, formas de repassar às futuras gerações tais conhecimentos, e que os métodos de ensino pudessem aproximar o conhecimento prático do científico e sua aplicação na sociedade.

Na próxima sessão, procuraremos discorrer um pouco sobre esse longo e, ainda, inesgotável tema: ensino e aprendizagem.

3.1 A validade das práticas experimentais em física à luz das teorias da aprendizagem

Como anteriormente comentamos (alicerçados em Paulo Freire) o ser humano primeiramente aprendeu. Aprendeu que podia plantar seu alimento ao invés de vagar pelo mundo buscando locais, onde pudesse encontrar seu sustento. Aprendeu a marcar o tempo e com isso identificar melhor o período ou época para se plantar. Aprendeu a dominar e manipular os animais para que estes pudessem lhe ajudar nas tarefas diárias, toda via, nenhuma dessas habilidades aprendidas e desenvolvidas pelo homem teria sido possível não fosse a característica única que o distingue dos outros animais – seu cérebro.

Nas palavras de Johanson e Shreeve (1986, apud Lefrancois, 2008, p.224) “Não há solução melhor para o ambiente de alguém – nenhuma garra tão afiada, nenhuma asa tão leve, que possa conseguir os mesmos benefícios adaptativos – do que essa pesada bola de matéria cinzenta”. O cérebro é, também, o responsável por uma das maiores façanhas já realizadas pelo homem, o qual sem ela seria impossível que o que hoje existe se tornasse possível – a linguagem. É, e foi por

meio da linguagem que o homem conseguiu transferir aquilo que aprendia em sua experiência diária para as gerações futuras.

Diante de tal importância, o homem, inevitavelmente, se voltou para esse órgão tão proeminente e buscou conhecê-lo a fim de poder compreender os mecanismos que regem sua dinâmica e que tornam possíveis as realizações mais incríveis que se poderia acreditar. Nesta tarefa muitos pesquisadores se debruçaram sobre a empreitada de desvendar os mecanismos de aquisição de conhecimento ou de aprendizagem, surgindo, assim, várias correntes de pensamentos dentre as quais destacamos as Behavioristas e as Cognitivistas. Para os Behavioristas, a aprendizagem é um processo pelo qual ocorrem mudanças comportamentais no sujeito quando este é estimulado para tal, tendo como defensores dessa corrente Pavlov, Watson, Guthrie e Skinner. Em contraponto ao Behaviorismo, tem-se o Cognitívismo, cuja abordagem é direcionada à compreensão dos processos mentais, processos esses que explicam tal mudança no comportamento, e cujo foco está direcionado especialmente na aquisição e processamento de informações. Nessa corrente encontramos como principais expoentes Jean Piaget, que enfatiza a importância do desenvolvimento biológico e sua correlata ligação com a inteligência e, Levy S. Vygotsky que enfatiza a cultura e a interação social como elementos ativos do desenvolvimento da consciência humana.

É notório que a aprendizagem, ou o ato de aprender, é um processo constante na vida do ser humano e que perdurará até o seu fim. Desde os primeiros anos de vida nos deparamos com diversas situações como andar, falar, correr, ler etc. À medida que o sujeito pratica ou tem experiências de aprendizado, constrói e reconstrói seu comportamento, pensamentos e sentimentos. Mas nem sempre essas mudanças ocorrem devido a algum tipo de experiência anterior, elas podem ser apenas resultado dos processos de maturação biológica. Nessa perspectiva, o enfoque dado por Piaget durante esse processo de amadurecimento nos auxilia na compreensão dos mecanismos que modelam a aprendizagem.

Embora os estudos de Piaget tenham maior relevância na compreensão do desenvolvimento infantil, suas ideias e teorias sobre a aprendizagem da criança podem ser transportadas para outros cenários, pois, segundo ele, o

desenvolvimento cognitivo é moldado por quatro grandes forças – a equilibração, a maturação, a experiência ativa e a interação social.

A primeira dessas forças diz respeito a um ponto de equilíbrio entre dois momentos no processo de aprendizagem que são a assimilação e a acomodação. Na assimilação, o sujeito procura adequar uma situação nova a conhecimentos prévios, ou seja, ele tenta adaptar o novo estímulo a um conceito que lhe seja familiar. Já a acomodação refere-se a modificações ocorridas nos conceitos em virtude de uma ação externa como, por exemplo, a explicação formal dada por um professor sobre um conceito informal, como por exemplo, as definições conceituais sobre a eletricidade citadas na sessão anterior.

Toda atividade, afirma Piaget, envolve tanto a assimilação quanto a acomodação. A criança - o aluno - não consegue reagir a uma situação totalmente nova sem usar algo que aprendeu antes ou sem usar alguns comportamentos anteriores (assimilação). (Lefrancois, 2008,p.245).

Entretanto, para Piaget, deve haver um ponto de equilíbrio entre a assimilação e a acomodação. Após a aquisição de um novo conceito o sujeito necessita de certo tempo para que possa assimilá-lo, confrontar o antigo com o novo e assim poder acomodar o novo conceito, produzindo então um verdadeiro aprendizado. Por outro lado se não houver estímulo, novas experiências, os conceitos existentes não serão revistos e conseqüentemente não haverá esse confronto, o que não produzirá aprendizagem.

Esse processo de assimilação e acomodação, mais precisamente acomodação, é também visto por Piaget como um processo de interiorização. O sujeito cria representações mentais sobre as experiências vividas no mundo físico.

A segunda força defendida por Piaget, a maturação, é fruto de um processo biológico natural, ou seja, à medida que a criança cresce seu cérebro acompanha esse crescimento e com isso, novas estruturas neurais são criadas possibilitando assim uma maior capacidade de processamento de informações. Poder saber e reconhecer essa fase é importante para que se possa submeter à criança aos estímulos adequados e assim otimizar seu aprendizado. Semelhantemente, saber reconhecer essa fase em idades além da infantil, ajuda ao professor a melhor conduzir o processo de assimilação e acomodação de novos conceitos/conhecimentos.

Outra das forças essenciais para a aprendizagem segundo Piaget é a chamada experiência ativa, que se traduz em uma forma de adquirir conhecimento e de formação de conceitos mediante a interação concreta com objetos reais. Segundo Lefrancois (2008) é um processo no qual o aprendiz é envolvido ativamente no processo de descobrir e aprender.

Aqui gostaríamos de abrir um parêntese e comentar que, essa ideia de Piaget corrobora com a adoção de aulas praticas experimentais nas disciplinas de ciências (física, química) como ferramenta pedagógica para proporcionar ao aluno um momento de rever e confrontar a teoria estudada em sala com os resultados experimentais obtidos. Entretanto, cabe aqui a advertência feita por Tamir (1991 apud Borges 2002) sobre o modo como essas aulas experimentais devam ser conduzidas.

Segundo Tamir, a maneira e a forma como as aulas praticas geralmente são realizadas pouco, ou nada, estimulam de fato a compreensão da teoria estudada uma vez que os alunos seguem roteiros pré-determinados cujo objetivo é chegar a “resposta certa”, não havendo aí espaço para discussões sobre os melhores procedimentos a serem seguidos nem tampouco a análise crítica de um resultado inesperado.

“No que é denominado laboratório tradicional, o aluno realiza atividades praticas, envolvendo observações e medidas, acerca de fenômenos previamente determinados pelo professor [...] Com isso, os estudantes dedicam pouco tempo à análise e interpretação dos resultados e do próprio significado da atividade realizada. Geralmente, eles percebem as atividades praticas como eventos isolados que têm o objetivo de chegar à ‘resposta certa’ (TAMIR, 1989).” (TAMIR, 1991 apud Borges, 2002, p.13-14).

Por fim, Piaget destaca a importância das relações sociais para o desenvolvimento cognitivo: “é por meio dela que as crianças se tornam conscientes dos sentimentos e pensamentos alheios, desenvolvem regras morais e de brincar, e desenvolvem e praticam seus próprios processos de pensamento lógico”. (Lefrancois, 2008, p.263).

E aqui, mais uma vez, recordamos Freire quando assevera que aprender precede o de ensinar, e esse aprendizado se dá justamente pelas relações sociais construídas. Podemos então dizer que aprender é uma ação social. Dito isto, passemos então a ver o papel dessas relações sociais sob o olhar de Lev Vygotsky.

Apesar de Vygotsky criticar o trabalho de Piaget sobre os mecanismos da aprendizagem, percebemos que ambos dão destaque para a interação social no desenvolvimento da cognição, muito embora essas visões, aparentemente convergentes, divergem quanto à origem. Enquanto a teoria de Piaget objetivava aspectos internos, biológicos, Vygotsky procurava focar nas relações externas – o meio social no qual o sujeito está inserido, como aspectos relevantes deste processo.

Essas relações, por sua vez, se configuram como elementos potenciais para a aquisição de novos conceitos/conhecimentos. Tal potencialidade é definida pelo teórico como uma *zona de desenvolvimento proximal – (ZDP)*, que pode ser entendida como a distância do conhecimento real, aquilo que o sujeito sabe e a potencialidade para aprender.

Esse pensamento de Vygotsky decorre de sua análise das três principais correntes teóricas sobre as concepções entre desenvolvimento (mental) e aprendizado. A primeira dessas correntes afirma que o desenvolvimento é independente do aprendizado. Segundo seus defensores, dentre os quais se encontra Piaget, o desenvolvimento sempre precede ao aprendizado que não ocorre sem o primeiro. Nas palavras do autor (VYGOSTSKY, 1991, p. 54) “O desenvolvimento ou a maturação são vistos como uma pré-condição do aprendizado, mas nunca como resultado dele”. Para segunda corrente o aprendizado é desenvolvimento, os dois processos ocorrem simultaneamente.

A terceira e última corrente apontada por Vygotsky afirma que o desenvolvimento e o aprendizado estão inter-relacionados. Vygotsky dá como exemplo a teoria desenvolvida por Koffka em que aponta o desenvolvimento como fruto de dois processos interdependentes onde cada um influencia o outro. (VYGOSTSKY, 1991) “de um lado a maturação, que depende diretamente do desenvolvimento do sistema nervoso; do outro o aprendizado, que é em si mesmo, também um processo de desenvolvimento”. Koffka, portanto, defendia que o desenvolvimento (biológico) deveria ser sempre maior, pois este serviria de base para a aprendizagem e, ao mesmo tempo, a aprendizagem forçaria o processo de maturação.

Embora rejeite as concepções teóricas apontadas, Vygotsky busca através delas, encontrar “uma visão mais adequada à relação entre aprendizado e desenvolvimento”. Para tanto o teórico começa sua análise partindo da premissa de que a aprendizagem (aprendizagem da criança) começa muito antes da idade escolar. Cita como exemplo o aprendizado em aritmética onde, antes mesmo de tomarem conhecimento das operações e métodos formais, já se depararam com situações de soma, subtração, divisão e relações de tamanho, fazendo com que o indivíduo apresente em si um conhecimento prévio. Recordando Koffka, Vygotsky comenta que o mesmo admite que a diferença entre o aprendizado pré-escolar e o escolar está na sistematização do conhecimento, porém, esta sistematização, provoca um “algo novo” na relação entre desenvolvimento e aprendizagem. A esse “algo novo” Vygotsky denominou de Zona de desenvolvimento proximal. Nas palavras do autor

Ela é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas, e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de **alguém mais experiente**, ou em colaboração com companheiros mais capazes. (VYGOSTSKY, 1991, p. 54, grifo nosso.)

Vygotsky chega a essa conclusão depois de analisar uma pesquisa, fictícia talvez, com duas crianças em idade escolar de dez anos de idade (cronológica) e oito anos em idade mental¹ onde lhes são apresentados uma sequência de atividades ou tarefas com níveis de dificuldades acima daquelas com as quais conseguiam resolver sozinhas, mas que sob sua orientação conseguiam progredir embora de formas desiguais, uma mais que outra. Tal conclusão demonstra que indivíduos que apresentam, aparentemente, o mesmo nível de idade mental, mas que sob a orientação de alguém mais experiente consegue resolver tarefas para além de suas capacidades, possuem funções mentais que ainda não amadureceram, mas estão em processo de maturação.

Nessa perspectiva cabe ao professor elaborar estratégias e atividades que estimulem essa “zona de desenvolvimento”. No tocante às aulas práticas experimentais, o professor deverá, portanto, produzir sequências metodológicas que priorizem o ato investigativo, que suscite o levantamento de questões por parte do

1 - A determinação da idade mental é fruto da aplicação de testes levando em consideração a resolução de tarefas/questões de forma independente para um mesmo nível pelos indivíduos envolvidos).

aluno, que a atividade experimental possa ser compreendida não como um ato mecânico da aula, mas, como um mecanismo de busca por respostas. Nas palavras de Gunstone:

Essas considerações sugerem a necessidade de atividades pré e pós-laboratório, para que os alunos explicitem suas ideias e expectativas, e discutam o significado de suas observações e interpretações. Antes de realizar a atividade prática, deve-se discutir com eles a situação ou fenômeno que será tratado. Pode-se pedir que escrevam suas previsões sobre o que deve acontecer e justificá-las. Na fase pós-atividade, faz-se a discussão das observações, resultados e interpretações obtidos, tentando reconciliá-las com as previsões feitas. (GUNSTONE, 1991, apud, Borges, 2002, p. 19).

Portanto, é imprescindível que o professor tenha em mente a importância de se conhecer os processos pelos quais seu aluno aprende ou, no mínimo, inquietar-se pelo fato de sua posição como professor não despertar a curiosidade inata desse aluno. Assumindo então essa posição, consciente e crítico de sua atuação, o professor tornar-se-á mais que um mero transmissor de conteúdo, ou, nas palavras de Paulo Freire, sua ação formadora muito mais que puramente treinar o educando no desempenho de destrezas.

3.2 Teorias da aprendizagem para a educação a distância (ead) e o ensino de física.

Considerando o atual estágio das ferramentas de comunicação, com suas diversas modalidades e funcionalidades, observamos que o ato de ensinar e o processo de aprendizagem não ficam, ou não podem ficar, restritos a um local físico onde somente ali o conhecimento pode ser adquirido.

A ideia de que o ensino e o aprendizado só ocorrem em um ambiente face a face tem sido revista nas últimas décadas, principalmente em virtude do avanço das tecnologias de comunicação. Porém, o conceito de um ensino não presencial não é novo, datando do século XVIII, mais precisamente 1728, quando o jornal *Gazeta de Boston* ofereceu os serviços de tutoria por correspondência.

Entretanto, foi só a partir do século XX que essa modalidade de ensino ganhou notoriedade com o surgimento de meios de comunicação mais rápidos como o rádio, a tv e mais recentemente a internet. Contudo, a mecânica do processo de

ensino permanecia a mesma do modelo presencial. Cremos que isso se dê por falta de uma formação voltada para os professores que contextualize as ações que os PCN's norteiam com as novas dinâmicas de ensino e aprendizagem proporcionadas pela TIC, bem como, a reestruturação para incorporação de fato dessas novas tecnologias dentro do âmbito pedagógico de cada escola.

O papel do professor dentro desse novo contexto de educação, não é mais o de único detentor do saber, mas sim, o de facilitador. A teoria humanista fomentada por Carl Rogers defende que o professor será um auxiliador de seus alunos, propondo caminhos diversos para o descobrimento do conhecimento, partilhando com eles a carga da responsabilidade do processo de aprendizagem ao mesmo tempo em que promove novos recursos para isso (ZIMRING, 2010).

Rogers defende que o maior e o principal alvo da educação é a facilitação fomentada pelo professor que, sendo a pessoa mais experiente em relação ao aluno, poderá conduzi-lo no processo de aprendizado propondo situações significantes e sobre isso MOREIRA comenta.

Aprendizagem significativa é para Rogers, mais do que uma acumulação de fatos. É uma aprendizagem que provoca uma modificação, quer seja no comportamento do indivíduo, na orientação futura que escolhe, ou nas suas atitudes e na sua personalidade. É uma aprendizagem penetrante que não se limita ao aumento de conhecimento (MOREIRA, 1999).

Ou seja, nesse tipo de aprendizagem o aluno é o principal agente de seu capital cognitivo, buscando nesse processo confiança e capacidade de se autplanejar e de elaborar seu cronograma de estudos, ter ciência de sua responsabilidade sobre eles e adquirir o perfil de um estudante facilitador que busca responder suas indagações.

Já para Piaget, a aprendizagem se limita ao esclarecimento de uma determinada problemática e/ou situação, no qual provocações instigarão o sujeito a fomentar a busca pelo conhecimento. Já a aquisição do conhecimento está intrinsecamente ligada ao objeto de estudo. Sendo assim, qual o papel da escola para Piaget? O de ajudar no processo pela busca do conhecimento ligando o currículo formal ao conhecimento trazido pelo aluno e fazendo a contextualização entre os dois.

Para propor uma ação mais conscientizadora do professor e, de toda a equipe pedagógica, em como proceder na aquisição do ensino/aprendizagem, Viana afirma.

É necessário, portanto, estabelecer conexões com um modelo de inovação que: permita estabelecer relações significativas entre diferentes saberes, de maneira progressiva, para ir adquirindo uma perspectiva mais elaborada e complexa da realidade; procure converter as escolas em lugares mais democráticos, atrativos e estimulantes; [...] facilite a aquisição do conhecimento, mas também a compreensão daquilo que dá sentido ao conhecimento; seja conflituoso e gere um foco de agitação intelectual permanente; e que considere que não há instrução sem educação. (VIANA e SANTOS, 2014, p. 23)

Sabemos que mudanças não se dão de maneira fácil, pois existem variáveis que determinarão o sucesso ou não na implementação de novas maneiras de ensinar e aprender. Mas para que esse processo resulte em uma aprendizagem de qualidade é preciso que o professor vá além. E a EAD é a ferramenta pedagógica ideal para propor aos alunos experimentar, se atrever, participar, buscar a ponte entre a teoria e a prática.

A proposta da EAD é tida como uma ferramenta bastante usada para estimular em seus usuários a possibilidade de comunicar-se e trocar ideias dentro de ambientes de aprendizagem formais (escola, universidades, faculdades, cursos de línguas etc.) e os informais (redes sociais, roda de amigos etc.). LEOPOLDO nos esclarece sobre as vantagens das ferramentas e/ou ambientes de aprendizagem on-line.

[...] favorece uma educação verdadeiramente multimídia, em que utiliza uma diversidade de meios, recursos e sistemas para representar a informação, além de uma perspectiva de construção individual da informação pelo aluno; centralização/descentralização administrativa da informação; [...] facilita o desenvolvimento de atividades de aprendizagem cooperativa e permite a comunicação e conversação sincrônica com outros usuários, favorecendo a criação de comunidades virtuais de aprendizagem. (LEOPOLDO, 2009, p. 21)

Como vimos, a educação on-line permite que o docente conte com recursos multimídia para auxiliá-lo da melhor forma quanto à busca de um processo de aprendizagem significativo, e que permite aos alunos “aprender a aprender” (LIBÂNEO, 2002) por meio de uma abordagem cognitivista, que visa a construção

do conhecimento feita pelo próprio aluno e, que na qual, considera seus erros e acertos. Para Cordeiro.

[...] O ensino deve ser baseado no ensaio e no erro, na pesquisa, na investigação e na solução de problemas por parte do aluno e não em aprendizagem de fórmulas, de nomenclaturas, definições etc. Assim, a questão fundamental do ensino reside nos processos e não em produtos de aprendizagem. O ensino tem como enfoque a organização dos dados da experiência, de forma a promover um nível desejado de aprendizagem. (CORDEIRO, 2007)

Como meios de atingir tais objetivos, seja num ensino face a face seja num modelo on-line, Perrenoud (PERRENOUD, 2000) afirma que os profissionais da educação ao introduzirem as TIC's em sua rotina de planejamento e de prática pedagógica devem buscar conhecê-las e explorá-las, pois estas trazem muitos benefícios contribuindo para ganhos cognitivos. Utilizar objetos de aprendizagem digitais como, por exemplo, experimentos virtuais, jogos de simulação etc. permitem ilustrar conceitos e dar novos significados ao aprendizado, ao mesmo tempo em que promoverá a inclusão social, pois dará aos discentes igualdades de oportunidade educativa.

No tocante às práticas experimentais realizadas em um curso de física, quer seja no ensino básico ou em um curso de graduação, por exemplo, a verificação de um conceito ou teste de uma hipótese/teoria por meio de uma atividade experimental, não deveria ser condicionada à realização única e exclusivamente num ambiente físico. Tomemos o caso da observação astronômica; hoje, qualquer pessoa pode ter acesso aos mais modernos e sofisticados telescópios para fazer suas observações do cosmos.

Nessa perspectiva, o que impede que um aluno de qualquer nível de ensino tenha acesso a um laboratório com equipamentos e tecnologia que o possibilitem realizar seus experimentos, testar suas ideias? Portanto, nesse trabalho, queremos investigar a real possibilidade de tornar esse ambiente acessível e assim contribuir para a melhoria do processo de ensino e aprendizagem tanto na modalidade presencial quanto na EAD e/ou educação on-line.

3.3 Práticas experimentais a distância: possibilidades e desafios

É consenso entre a maioria dos professores de física que a utilização de atividades praticas experimentais proporciona ao aluno um momento rico para seu aprendizado. Com tudo, essas aulas experimentais muitas vezes não são realizadas em virtude dos mais diversos argumentos, muitos deles válidos. Podemos citar a exemplo os mais difundidos entre os trabalhos que abordam a temática: a falta de equipamento e local adequado à realização da prática (laboratório) e de tempo para preparação da aula – já que todo o tempo disponível é dedicado à sala de aula – entre muitos outros.

Ao se propor uma aula experimental, deve-se ter em mente o propósito que tal mecanismo didático deve ter, pois, em se tratando de aulas experimentais, pode-se categoriza-las sob três aspectos: prática demonstrativa, prática de verificação e praticas de investigação. Cada uma dessas categorias aplica-se a um determinado procedimento que será definido pelo professor tendo em vista às características do conteúdo abordado e de como ele – o professor – espera que seus alunos se apropriem do conhecimento em questão. Oliveira (OLIVEIRA, 2010) analisa esses três aspectos e apresenta em um quadro resumo os principais pontos e o papel de cada sujeito para cada modalidade de pratica experimental.

Quadro 1 - Resumo das principais características de cada pratica experimental apontada por Oliveira, 2010.

	Tipos de abordagem atividades experimentais		
	DEMONSTRAÇÃO	VERIFICAÇÃO	INVESTIGAÇÃO
Papel do professor	Executar o experimento; fornecer as explicações para os fenômenos.	Fiscalizar a atividade dos alunos; diagnosticar e corrigir erros.	Orientar as atividades; incentivar e questionar as decisões dos alunos.
Papel do aluno	Observar o experimento; em alguns casos, sugerir explicações.	Executar o experimento; explicar os fenômenos observados.	Pesquisar, planejar e executar a atividade; discutir explicações.
Roteiro de atividade experimental	Fechado, estruturado e de posse exclusiva do professor.	Fechado e estruturado	Ausente ou, quando presente, aberto ou não estruturado
Posição ocupada na aula	Central, para ilustração; ou após a abordagem expositiva.	Após a abordagem do conteúdo em aula expositiva	A atividade pode ser a própria aula ou pode ocorrer previamente à abordagem do conteúdo.
Algumas vantagens	Demandam pouco tempo; podem ser integrada à aula expositiva; úteis quando não há recursos materiais ou espaço físico suficiente para todos os alunos realizarem a prática.	Os alunos têm mais facilidade na elaboração de explicações para os fenômenos; é possível verificar através das explicações dos alunos se os conceitos	Os alunos ocupam uma posição mais ativa; há espaço para criatividade e abordagem de temas socialmente relevantes; o "erro" é mais aceito e contribui para o

		abordados foram bem compreendidos.	aprendizado.
Algumas desvantagens	Simple observação do experimento pode ser um fator de desmotivação; é mais difícil para manter a atenção dos alunos; não há garantia de que todos estarão envolvidos.	Pouca contribuição do ponto de vista da aprendizagem de conceitos; o fato dos resultados serem relativamente previsíveis não estimula a curiosidade dos alunos.	Requer maior tempo para sua realização. Exige um pouco de experiência dos alunos na prática de atividades experimentais

Fonte: Oliveira, 2010.

Para Cardoso e Takahashi (CARDOSO e TAKAHASHI, 2011) a experimentação, e porque não dizer a aplicação de praticas experimentais, promove o desenvolvimento de habilidades e competências como a compreensão, simplificação e modelagem de um problema, a formulação de hipóteses e a proposição de metodologias para verificação das hipóteses levantadas entre outras. Contudo, nota-se que devido aos diversos fatores dificultadores já mencionados neste trabalho, muitos professores acabam por excluir essas atividades de sua prática pedagógica ou quando as inserem utilizam-se das modalidades de demonstração e/ou verificação, utilizando-se de roteiros pré-definidos em que o aluno apenas segue uma receita com resultado previamente conhecido como nos aponta Araújo e Abib.

Ao contrário do desejável, a maioria dos manuais de apoio ou livros didáticos disponíveis para auxílio do trabalho dos professores consiste ainda de orientações do tipo “livro de receitas”, associadas fortemente a uma abordagem tradicional de ensino, restritas a demonstrações fechadas e a laboratórios de verificação e confirmação da teoria previamente definida, o que sem dúvida, está muito distante das propostas atuais para um ensino de Física significativo e consistente com as finalidades do ensino no nível médio (ARAÚJO e ABIBI, 2003).

Buscando então renovar o espirito da adoção das atividades laboratoriais, muitos grupos de pesquisa em ensino de física vêm estudando e propondo novas metodologias que motivem e possibilitem ao professor inserir em suas aulas atividades que desenvolvam o raciocínio científico em seus alunos. Tais grupos propõem desde a utilização de materiais de baixo custo, visando se contrapor aos argumentos de que para realizar uma aula experimental seria necessário possuir equipamentos exclusivos para tal fim, até a utilização de ambientes que já possuem tais equipamentos e que podem ser acessados remotamente por meio da internet.

Apesar de não ser objeto de nosso trabalho, consideramos que a utilização de materiais de baixo custo, se bem orientada, pode proporcionar ao estudante uma visão mais aprofundada do conceito de laboratório. Através dessa proposta o aluno terá que se apropriar dos conceitos envolvidos e procurar, através dos materiais alternativos, ilustrar, comprovar ou levantar dados que apoiem ou não a teoria em estudo, assim como fazem os “cientistas” que passam anos estudando e observando fenômenos ou processos físicos, químicos e biológicos, para que possam, em fim, propor uma teoria e testá-la por meio de experimentos controlados, como comenta Borges.

O cientista passou anos de sua vida estudando uma determinada área da ciência e quando se prepara para realizar um experimento ou conjunto de experimentos, ele o faz para resolver um problema que o interessa, e para o qual pode estar buscando uma solução há muito tempo. Assim, quando ele realiza um experimento, este vem precedido de muito estudo e reflexão, planejamento e preparação. Nesse período anterior à efetiva concretização do experimento, o cientista toma uma série de decisões para definir e delimitar o que irá fazer e medir/observar, que critérios usará para checar a precisão e a confiabilidade dos resultados, que controles exercerá sobre a situação, entre outras (BORGES, 2002).

Outra possibilidade está na utilização de equipamentos, já existentes, em alguma instituição de ensino como, por exemplo, universidades. Estas, por serem centros de formação e pesquisa, possuem em suas dependências laboratórios e equipamentos destinados à experimentação, e que por meio de acesso remoto, via internet, poderiam ser controlados. Esta alternativa isenta uma escola de possuir ambientes específicos (os laboratórios) para tal fim, mas não isenta a responsabilidade do professor em conduzir todo o processo. “A Experimentação Remota não auxilia a aprendizagem por si só; o uso da experimentação deve ser amparado por ferramentas didáticas e metodologias devidamente fundamentadas” (Cardoso e Takahashi, 2011), ou seja, as atividades a serem desenvolvidas pelos alunos devem ser mediadas pelo professor.

Esta nova modalidade de adoção de práticas experimentais realizadas por acesso remoto, tem sido alvo de muitos trabalhos. Podemos encontrar muitas proposições de experimentos que podem ser acessados e controlados à distância. Um bom exemplo é o do grupo “WEBDUINO²” da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. Neste ambiente são disponibilizados um pequeno conjunto de

experimentos, seis no total, que podem ser controlados por acesso remoto. Mas porque adotar essa metodologia? Que vantagens haveria? Um dos pontos que consideramos vantajosos está no fato de que uma instituição de ensino não precisa dispor de ambientes e materiais específicos de laboratório, especialmente para um laboratório de física, podendo aproveitar os espaços já existentes de alguma instituição que já os possua, evitando assim que equipamentos fiquem parados por muito tempo e venham a se deteriorar em virtude de sua não utilização. Outra vantagem está no fato de que, ao serem disponibilizados nesta modalidade seu rendimento, sua relação custo benefício será maior. Outros pontos relevantes são apontados por Silva 2006, apud Cardoso e Takahashi 2011.

- Maior utilização dos equipamentos do laboratório.
- Ao estarem disponíveis os equipamentos 24 horas por dia, 365 dias ao ano seu rendimento é maior.
- Organização de laboratórios. Não é necessário manter abertos os laboratórios a todas as horas, basta com que estejam operacionais.
- Organização do trabalho dos alunos. Com os laboratórios remotos os alunos e professores podem organizar melhor seu tempo, de maneira similar aos horários de aulas.
- Aprendizagem autônoma. Os laboratórios remotos fomentam o trabalho autônomo, que é fundamental no modelo atual de educação superior.
- Abertura a sociedade. Os laboratórios remotos podem ser colocados à disposição da sociedade.
- Cursos não presenciais. Possibilitam a organizar cursos totalmente não presenciais, evitando muitos dos problemas atuais.
- Inserção dos usuários em um contexto real.

Outro ponto a se considerar é que, a utilização de computadores numa aula quebra com o conceito “aula tradicional”. Mesmo na atual conjuntura tecnológica a utilização de computadores como ferramenta de aula ainda é pouco explorada. Os alunos veem o computador apenas como um objeto de diversão, tal como os consoles de vídeo games. É notório que ao se propor uma aula cujo objetivo seja a manipulação de um simulador, os alunos interagem com a máquina alterando os parâmetros e vendo em tempo real as modificações ocorridas. Essa interação propicia ao aluno um momento de confronto cognitivo desencadeando o processo de assimilação e acomodação proposto por Piaget. Contudo, apenas a adoção e inserção de atividades experimentais com o auxílio de um computador não são suficientes para promover um verdadeiro aprendizado.

A experimentação mediada por computador seja ela virtual, por meio de softwares simuladores, ou reais, por meio de acesso remoto, deve vir seguida de uma estratégia didática bem elaborada. O computador deve ser apenas o objeto de auxílio na aquisição do conhecimento. Schumacher, ao citar Costa (1995) e Driver (1989) descreve que:

O computador segundo Costa (1995), desempenha um papel importante na aprendizagem da Física, pois, quando empregado criteriosamente, se transforma numa ferramenta auxiliar de valor inestimável para o aprendizado e numa fonte de estímulo à criatividade inesgotável. É claro que um programa (software) por si só pode não funcionar como um estímulo à aprendizagem. O seu sucesso irá depender da integração do mesmo ao currículo e às atividades desenvolvidas em sala de aula, como acrescenta Driver. (SCHUHMACHER, 2004).

Muitas são as possibilidades de utilização do computador como ferramenta de apoio pedagógico para a prática docente. Porém, como já frisamos em linhas anteriores, o papel do professor continua a ser a figura principal de todo esse processo. Sendo este mais experiente que seus alunos, lhe cabe a tarefa de bem conduzi-los no caminho da busca pelo conhecimento.

4. O PRODUTO EDUCACIONAL PROPOSTO.

Nesta seção apresentaremos de forma breve a estrutura do produto educacional proposto, as possibilidades de sua utilização.

4.1 Descrição e finalidade do produto educacional desenvolvido.

Para o desenvolvimento do produto proposto utilizaremos a plataforma de prototipagem livre Arduino®, por ser uma base para o desenvolvimento de projetos na área da eletroeletrônica e robótica. Por ser uma plataforma de fácil manipulação, a comunidade mundial de desenvolvedores vem usando essa incrível base para desenvolver diversas aplicações que vão desde a automação de objetos do cotidiano a protótipos de instrumentos científicos. Devido a sua grande versatilidade, professores e alunos a utilizam para construir instrumentos científicos de baixo custo, para provar os princípios de química e física, ou para começar a trabalhar

com programação e robótica. (DA SILVA e PEREZ, 2013), (SILVA e MATHIAS, 2015), (RODRIGUES, 2014) e (MARTINAZZO, TRENTIN e FERRARI, 2014)

Mas o que é o Arduíno? Trata-se de uma placa micro controlada (fig.1) programável, baseada no chip Atmega328p, possuindo 14 pinos digitais I/O, 6 portas analógicas, um cristal de quartzo de 16Mhz e uma porta USB para conexão com o PC. Pode ser alimentado via própria porta USB ou por fonte externa com tensão máxima de 12 v. Tais características o tornam bastante acessível, pois, possui em sua configuração, componentes baratos e num eventual problema, o que provavelmente não ocorrerá devido à robustez dos elementos que o compõem, pode ser substituído com bastante facilidade.

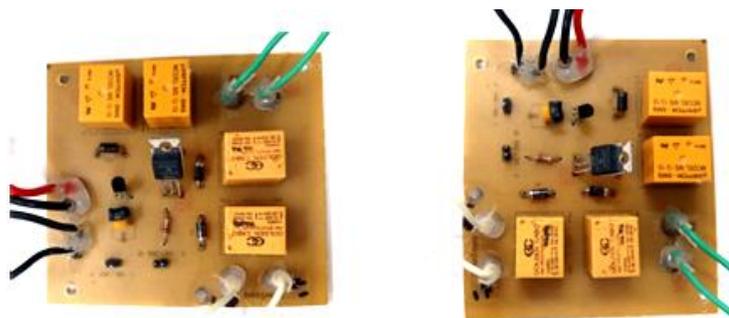
Figura 1 - Placa de prototipagem Arduíno UNO R3.



Fonte: ARDUINO.CC (2017)

Além da plataforma Arduíno© utilizaremos um circuito de atuação comandada via sinais enviados pelo Arduíno©. Esse circuito é constituído por simples componentes eletrônicos como reles e transistores, que podem ser chaveados por comandos enviados pelo PC ao micro controlador. Na figura 2 temos uma ilustração da referida placa.

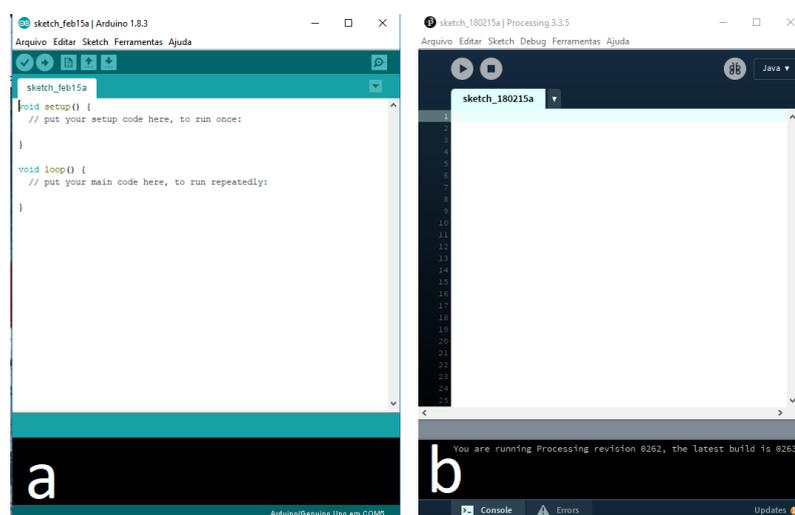
Figura 2– Imagem ilustrativa da placa do circuito de atuação. (a) vista frontal; (b) vista lateral direita.



Fonte – O autor (2017).

Além da placa micro controlada e do circuito de atuação, também desenvolvemos o programa (vide Apêndice B1) a ser gravado no chip ATmega bem como uma interface de usuário para envio dos comandos (vide Apêndice B2). Esta última fora desenvolvida através da linguagem da programação Processing®, linguagem essa utilizada para o desenvolvimento de aplicações gráficas e assim como a IDE do Arduíno® também possui licença open-source, ou seja, código fonte aberto. As imagens abaixo ilustram comparativamente as duas IDE's de desenvolvimento

Figura 3, (a) Arduino; (b) - Interfaces de desenvolvimento Processing.



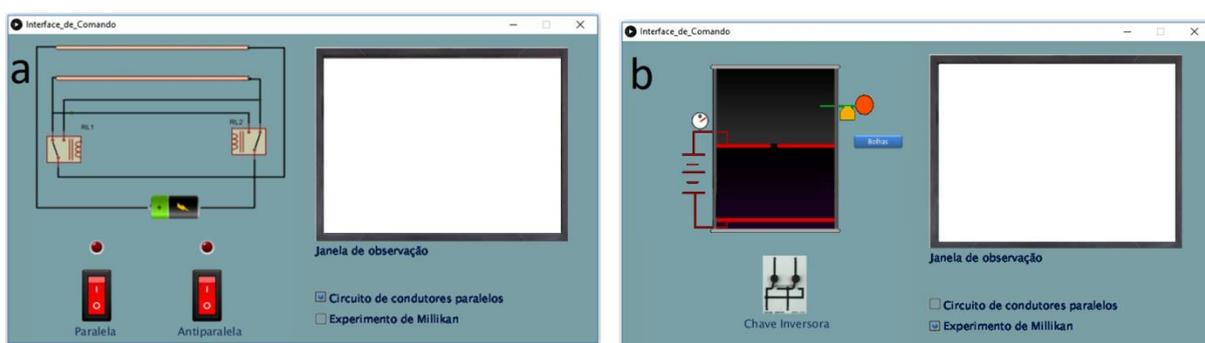
Fonte: O autor (2017).

As interfaces de usuário desenvolvidas (fig. 4) contam com botões, clicáveis, por meio dos quais se enviam comandos para o Arduíno e deste para o circuito de atuação acionando os reles, e assim poder comandar as ações no experimento a ser

realizado. Como a proposta de utilização visa a operação de equipamentos a distância, uma janela de vídeo foi adicionada para que o operador/experimentador possa acompanhar o andamento do procedimento em execução.

Na figura abaixo (fig.4) temos uma ilustração das duas interfaces gráficas de utilização do usuário para duas propostas de aplicação.

Figura 4 - Na figura a temos a interface de comando para a proposta experimental de verificação do comportamento de dois condutores paralelos quando percorridos por corrente elétrica. Na figura b, temos a interface de comando para a realização do experimento de Millikan.



Fonte: O autor (2017).

Por meio destas interfaces o aluno poderá ligar ou desligar um determinado conjunto de reles no circuito de atuação, acionando o equipamento em operação e assim dar início ao processo de coleta dos dados. As atividades inicialmente propostas para o projeto desenvolvido previa a sua utilização para a orientação da corrente elétrica num circuito de condutores paralelos (fig. 4a) com o intuito de verificar o comportamento/interação desses condutores, devido ao campo magnético gerado pela passagem de corrente elétrica. Mais detalhes sobre essa aplicação pode ser encontrada na próxima seção. Devido às características da montagem, percebemos ser possível aplicar o produto em questão para o controle da polaridade nas placas de um condensador e com isso aplica-lo na realização do experimento do circuito Resistor capacitor em serie – circuito RC, e assim poder determinar as curvas de carga e descarga do capacitor, contudo, essa proposta não foi contemplada em nossa aplicação devido à necessidade de uma implementação no código dos programas desenvolvidos para a leitura dos potenciais entre as placas do capacitor. Essa aplicação será desenvolvida em projetos futuros.

Vimos também que seria possível aplicar o produto na realização do experimento de Millikan, cujo objetivo é a determinação da carga elétrica fundamental. Mas para sua completa automação seria necessário ainda um complemento, pois, para a realização do experimento de Millikan, é necessária a pulverização de gotículas de óleo no interior da câmara formada pelas placas do condensador. Para que a proposta pudesse ser viável de aplicação desenvolvemos ainda um sistema composto por um pequeno compressor e um cilindro para armazenamento de ar.

Figura 5 - **Sistema para pulverização das gotículas de óleo no aparato de Millikan.**



Fonte: O autor (2017).

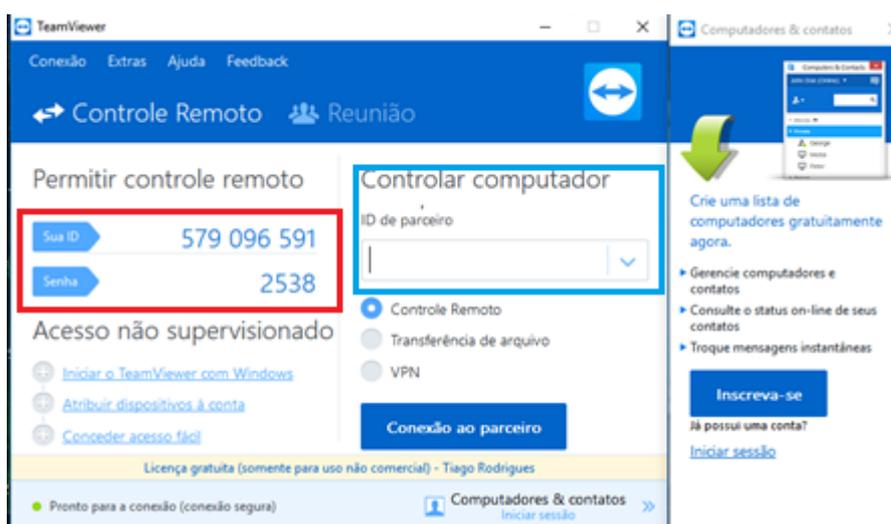
Através deste mecanismo o aluno poderá, através da interface de usuário, acionar uma válvula eletromecânica e permitir a saída do ar acondicionado no cilindro e assim produzir as gotículas. O mecanismo proposto conta ainda com um pressostato que faz o monitoramento da pressão no cilindro acionando o mini compressor quando a pressão estiver abaixo da configurada e desligando-o quando esta for atingida.

Este produto que ora apresentamos, pode ser operado tanto presencialmente, quanto à distância via acesso remoto, sendo esta nossa intenção de uso. Para a utilização remota, faremos uso do software TeamViewer. Este software é muito conhecido no campo da informática pela sua praticidade e facilidade de uso quando se deseja uma conexão remota e é utilizado principalmente para assistência técnica.

É um software de proprietário, pago, mas possui uma distribuição gratuita para usos não comerciais. Sua utilização é bastante simples bastando para isso que os dois computadores possuam o software instalado.

Para realizar a conexão remota, o usuário deve ter um numero de identificação (ID) do computador a ser acessado, bem como uma senha. Tais dados são gerados automaticamente pelo programa. Na imagem abaixo temos a ilustração da tela inicial do programa com os campos “Sua ID” e “Senha” gerados automaticamente e o campo “Controlar computador”

Figura 6 - **Software de conexão remota TeamViewer. Interface inicial.**



Fonte: - O autor.

Para realizar uma conexão com um computador remoto, o usuário insere inicialmente a ID do computador a ser controlado no campo “**ID de parceiro**” em seguida é solicitada a senha. Estando corretas, o programa fará a conexão automaticamente entre os dois computadores sem a necessidade de configurações específicas nos equipamentos de rede, como os roteadores. Devido à simplicidade de execução este foi o principal motivo pelo qual escolhemos esse método para a aplicação do produto. Outras formas de realizar a conexão remota forma estudadas mas em quase todas as opções seria necessário o domínio de conhecimentos relacionados à rede de computadores ou a necessidade de técnicos especialistas para a devida configuração dos dispositivos o que oneraria o processo. Com a utilização do TeamViewer qualquer usuário poderá realizar a conexão sem muita dificuldade.

4.2 Propostas de aplicação

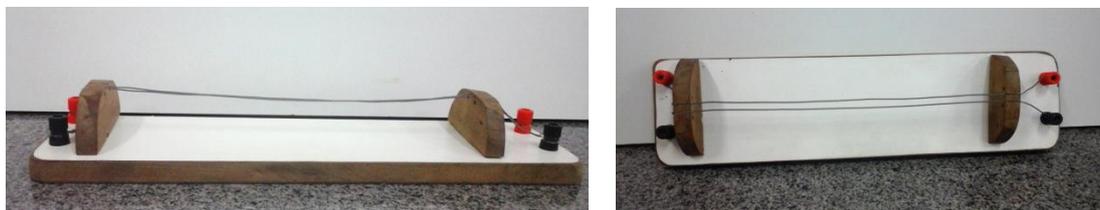
Nesta seção apresentaremos a duas propostas que podem ser realizadas com o produto desenvolvido.

4.2.1 Condutores paralelos percorridos por corrente elétrica.

Como apresentado na seção anterior, diante da dificuldade que algumas instituições de ensino possuem de dispor de equipamentos de laboratório para a realização de praticas experimentais e, com isso, ajudar na compreensão de certos aspectos teóricos/conceituais, vimos a oportunidade de apresentar para a comunidade uma possível solução em que, uma instituição que disponha de tais equipamentos os disponibilizem através da plataforma por nós proposta, por meio de acesso remoto.

Como exemplo de aplicação podemos sugerir a realização de dois experimentos. No primeiro o estudante poderá verificar a interação entre campos magnéticos gerados pela passagem de uma corrente elétrica entre fios condutores paralelos. Para isso, utilizaremos a montagem experimental abaixo (fig. 7) conectada ao circuito de atuação, que por sua vez estará conectada ao Arduino e este conectado ao Pc via cabo USB.

Figura 7 – **Montagem experimental de fios paralelos.**



Fonte – O autor, 2016.

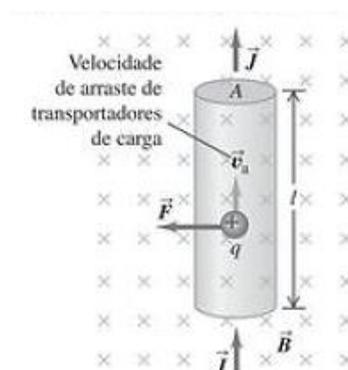
Neste experimento provoca-se a passagem de uma corrente elétrica através dos condutores e por meio do circuito de atuação (fig.2, pg. 31) pode-se inverter o sentido dessa corrente.

Verifica-se experimentalmente que condutores ao serem percorridos por uma corrente elétrica geram campos magnéticos – experiência de Oersted, século XIX.

Por sua vez, se um condutor transportando corrente estiver imerso em um campo magnético, este exercerá uma força lateral (efeito Hall) sobre os portadores de carga (prótons e elétrons) que se deslocam pelo condutor (fig. 8). Assim, se dois condutores retilíneos estiverem próximos e transportando corrente, os campos magnéticos gerados por cada condutor poderá induzir uma força magnética de um sobre o outro e, a natureza dessa interação dependerá da orientação da corrente elétrica nos condutores.

Garças a esses efeitos que muitas aplicações praticas puderam ser desenvolvidas, especialmente no desenvolvimento de aparelhos elétricos, hoje considerados naturais, como os motores elétricos.

Figura 8 - **Representação da força magnética produzida por um campo magnético sobre um portador de carga.**



Fonte: Sears e Zemasnky (2009).

4.2.2 O EXPERIMENTO DE MILLIKAN

Como segunda proposta de aplicação, sugerimos a realização do experimento de Millikan para a determinação da carga elementar. Considerado como um dos 10 experimentos mais belos da física, o experimento da gota de óleo, com também é conhecido, desempenhou importante papel para o desenvolvimento científico no século XX na compreensão da estrutura da matéria e na “transformação do modelo padrão” (EDUA, 2005). Para além dos motivos históricos, acreditava-se que a carga elétrica era algo como um fluido e sua medida era a “quantidade de eletricidade contida em um objeto” (EDUA, 2005), todavia, essa medida representava a carga total presente em um corpo tal como a medida da massa de

um objeto. Abaixo temos uma figura do aparato utilizado por Millikan e seus colaboradores no experimento em discussão.

Figura 9 - **Montagem utilizada por Millikan para sua investigação sobre a carga do elétron.**

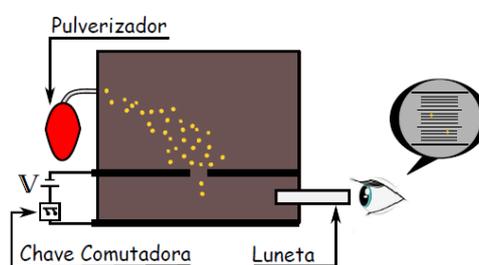


Fonte - <http://profs.ccems.pt/PauloPortugal/PHYSICA/Millikan/millikan.htm>

A seu tempo, Thomson (1897) através de seus experimentos com raios catódicos já previa a existência de partículas, às quais inicialmente denominou corpúsculos possuidores de carga elétrica negativa. Essas partículas viriam então a ser chamadas de elétrons. Thomson considerou então a possibilidade de medir a carga elétrica do elétron chegando a valores bem próximos do que hoje é aceito, mas coube justamente a Millikan e seus colaboradores obterem um valor preciso, ou seja, $e = 1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$.

Sendo um dos experimentos de importância ímpar para o conhecimento científico, o mesmo não poderia deixar de ser realizado por alunos de graduação em física e também por alunos do ensino médio. Por este motivo acreditamos que nossa proposta possibilita que estudantes de ambos os níveis de ensino possam ter acesso e realizar este incrível experimento.

Figura 10 - **Representação gráfica simplificada do experimento para determinação da carga elétrica fundamental pelo método de Millikan.**



Fonte: Autor, 2017.

Em que consiste tal experimento? Neste experimento, representado simplificado na figura, gotículas de óleo penetram no interior de uma câmara capacitiva formada por duas placas condutoras às quais se aplicam uma diferença de potencial. Essas gotículas ficam sujeitas à ação de uma força elétrica devido ao campo elétrico existente. Havendo carga elétrica nas gotículas e, alterando a

polaridade do potencial elétrico aplicada às placas que constituem a câmara, pode-se alterar o sentido da força elétrica sobre a gotícula e com isso fazê-la se mover verticalmente. Uma Análise física das forças revela que a carga elétrica presente na gotícula pode ser inferida através da sua velocidade de deslocamento entre as placas. Assim, de acordo com o procedimento clássico, deve-se cronometrar os tempos de subida e descida de uma gotícula entre duas posições no interior da câmara para que seja possível a determinação de sua velocidade. Todo o procedimento pode ser acompanhado por meio de um microscópio contendo uma escala pela qual o experimentador pode se guiar.

5. METODOLOGIA.

Para aplicação e verificação da viabilidade técnica e pedagógica do produto proposto, decidimos aplica-lo em uma turma de alunos do 3º ano do ensino médio de uma escola da rede pública do estado de Alagoas. Para a aplicação, optamos pela realização do experimento de Millikan, por se tratar de um tópico pouco explorado nos cursos de física de nível médio, e por possuir relações com conceitos da eletrostática como, carga elétrica, campos e potencial elétrico. Para nos guiar quanto aos procedimentos, basearemos nossa aplicação no conceito da zona de desenvolvimento proximal de Vygotsky, com a aplicação de uma sequência de procedimentos investigativos, através de questões orientadoras antes, durante e após a experimentação. Também nos valeremos da teoria humanista de Carl Rogers, pois, acreditamos que, justamente pelo fato dos alunos do ensino médio não possuírem ainda maturidade psico-cognitiva para compreender a dinâmica do experimento, a figura do professor orientador trará benefícios para que os alunos consigam alcançar os objetivos pretendidos pelo experimento.

O trabalho em questão fora aplicado em uma escola da rede estadual de educação, localizada no município de Maceió. Esta escola atende a alunos de um bairro periférico da cidade Maceió. Possui 14 salas destinadas a salas de aula, uma sala destinada a laboratório de ciências, uma destinada ao laboratório de informática, um auditório com capacidade para 80 pessoas, uma sala para o grêmio estudantil, refeitório para 60 pessoas, dependências administrativas (secretaria, salas de direção e coordenação) e sala de professores.

Apesar de existir uma sala destinada ao laboratório de ciências a mesma não é utilizada devido à: falta de manutenção do ambiente, deterioração dos equipamentos e substâncias químicas, e porque não dizer também, falta de interesse dos professores em utilizar tal sala. De modo geral as salas desatadas aos laboratórios de ciências são pouco aproveitadas e mal administradas. Sobre esse tema poderíamos dedicar um capítulo a parte.

O grupo participante da aplicação é constituído de uma turma homogênea, com 37 alunos do terceiro ano do ensino médio entre garotas e rapazes, com idades entre 15 e 18 anos.

Sendo o objetivo da aplicação determinar o valor da carga elementar do elétron pelo método de Millikan utilizando o produto desenvolvido utilizamos o aparato experimental existente no laboratório de ensino do instituto de física da Universidade Federal de Alagoas. Para tanto, fizemos uma solicitação de uso da estrutura e do aparato experimental à coordenação do laboratório na pessoa da professora Maria Tereza de Araújo.

5.1 Procedimentos para a aplicação.

5.1.1 Escolha da turma pra aplicação.

Para desenvolvermos nosso trabalho inicialmente fizemos a seleção de uma das três turmas do 3º ano do ensino médio. Para a seleção, optamos por escolher aquela que fosse mais suscetível ao objeto proposto para aplicação. Como critérios de seleção apontamos:

- ✓ **Assiduidade:** este foi um fator muito importante a considerar tendo em vista a alta taxa de evasão que constatamos durante nossa atuação na escola. Turmas com alto índice de alunos faltosos dificultam ou até mesmo impossibilitam a realização de um trabalho contínuo.
- ✓ **Tempo da aula:** este fator também foi levado em consideração, pois, o tempo de aula interfere diretamente nas propostas de mudança na didática de aula. Fator este que muitos professores argumentam para a não adoção de novas práticas. O horário da aula também interfere no fator anterior. Se uma aula se der no início do turno escolar, muitos alunos chegam atrasados (considerando a realidade local) perdendo assim um

bom tempo de aula. Se tomarmos os últimos horários do turno escolar, comumente temos perda de tempo efetivo de aula, muitas vezes ocasionada pela liberação antecipada dos alunos devido a realidade da vulnerabilidade social dos alunos. Tomando isso em consideração, observamos que temos duas turmas com horários propícios para a realização do trabalho proposto.

- ✓ **Predisposição dos alunos para novas experiências:** segundo Pellizari e Kriegl (2001-2002) a predisposição do aluno para aprendizagem, ou seja, a vontade que o aluno apresenta para adquirir novos conhecimentos interfere diretamente na capacidade de assimilação.
- ✓ **Engajamento/Participação:** Aliada a predisposição, este fator é altamente imprescindível para a aplicação de atividades, principalmente de investigação/experimentação, atividades estas que fogem da rotina de uma aula expositiva. Não havendo engajamento da turma num processo de construção do conhecimento, nenhuma atividade por mais atrativa e bem intencionada surtirá o efeito desejado.

Considerando então os critérios acima levantados, optamos por escolher a turma do 3º ano A por considerar que esta turma atende em sua maioria aos critérios estabelecidos.

A turma selecionada possui duas aulas de 60min conjugadas, o que contribui para um tempo efetivo de trabalho. Das três turmas, é a que apresenta o menor índice de evasão, o que contribui para o bom andamento das atividades em grupo sem maiores prejuízos. É uma turma participativa e demonstra estar sempre atenta aos conceitos tratados em sala. Em sua grande maioria, contribui durante as aulas com perguntas, solicitações de explicações extras, o que nos motiva a sempre trazer o “algo a mais” para a turma.

5.1.2 DESENVOLVIMENTO DA APLICAÇÃO.

A aplicação proposta foi desenvolvida e dividida em 5 momentos ao longo de 3 tempos de aula de 120min cada. Iniciamos a aplicação, primeiramente orientando os alunos quanto ao objetivo de nosso trabalho. Para isso, no primeiro momento realizamos uma aula conceitual com exibição de um vídeo (descrito na sequência

apresentada no ANEXO A) e ao final desta etapa solicitamos que realizassem uma breve pesquisa sobre o tema em estudo tendo como referência para a pesquisa as seguintes questões:

- I. Quem foi Robert Andrews Millikan?
- II. Qual a finalidade (o objetivo), do experimento proposto por Millikan?
- III. Que equipamento ele utilizou em seu experimento? Descreva a estrutura física desse equipamento.
- IV. Como esse experimento foi realizado? Quais os procedimentos na sua experimentação?
- V. Qual a importância desse experimento?

Com esta pesquisa, procuramos provocar no aluno um estado de latência para o ato investigativo experimental, ou, o que Vygotsky chama de *ZDP*.

A aplicação do trabalho ocorreu no final do 4º bimestre letivo. Infelizmente, um “fator externo” teve influência relevante no terceiro momento da aplicação: por ser final de bimestre letivo, a coordenação da escola orientou aos professores que dispensassem os alunos considerados aprovados, ou seja, aqueles que já possuíam média final suficiente para a aprovação. Essa é uma prática comum, tendo como objetivo a diminuição de alunos circulantes na escola. Como resultado desta orientação, houve uma redução do número de alunos nas turmas, permanecendo apenas aqueles que ainda não obtiveram a pontuação mínima para a aprovação anual. Por conta disso, o número de alunos que concluíram esta etapa foi reduzido para 14. Salientamos que estas atividades não compuseram as notas dos alunos.

Num segundo momento, dividimos a turma em equipes e aplicamos um questionário a fim de verificar se houve alguma assimilação de conhecimento fruto da aula e da pesquisa.

Figura 11 - 1º momento da aplicação: alunos respondendo ao questionário prévio referente ao 2º momento da aplicação.

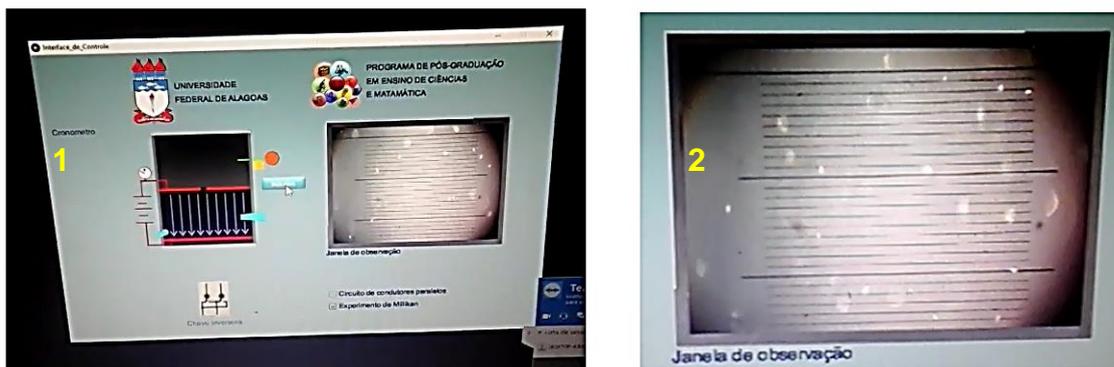


Fonte: O autor, 2017.

Com o grupo de alunos restantes demos continuidade agora com a aplicação do objeto educacional desenvolvido. Os alunos foram organizados em três grupos. Levamos os grupos à sala de computadores da escola onde lá, realizamos a conexão com o computador do laboratório de ensino do instituto de física/UFAL onde se encontrava instalado o objeto educacional e montado o aparato experimental de Millikan.

Inicialmente apresentamos o programa (interface de usuário fig.12) a ser utilizado na a realização do experimento bem como as instruções de operação e manipulação. Realizamos uma pequena demonstração para apresentar aos alunos a dinâmica do experimento e o comportamento das gotículas quando invertemos a direção do campo elétrico.

Figura 12 - (1) imagem do software para realização do experimento de Millikan. (2) Detalhe da imagem da webcam focalizando as gotículas na câmara capacitiva do aparato experimental e a grade micrométrica.



Fonte: O autor, 2017

Em seguida definimos um tempo de 30min para cada equipe e entregamos um roteiro (Ver ANEXO B) com informações e procedimentos para a realização do mesmo.

Como só havia disponibilidade de apenas um equipamento, o experimento foi realizado por uma equipe por vez. Na atividade, os alunos cronometraram o tempo necessário para que uma gotícula se movesse entre duas marcas consecutivas delimitadas pela escala micrométrica (figura 12.2) presente na ocular do microscópio acoplado junto à câmara capacitiva que forma o aparato de Millikan (ver ANEXO B, fig. 22a). Após coleta dos tempos passamos a análise dos valores coletados e ao cálculo das cargas elétricas presente nas gotículas. Abaixo apresentamos algumas imagens dos alunos durante a realização dos procedimentos.

Figura 13 - 2º Momento da aplicação: Fotos da aplicação: Grupo de alunos realizando o experimento remoto. Na foto 1 temos o grupo um formado por rapazes do 3º ano "A". Na foto 2 temos um grupo formado por garotas também do 3º ano "A". Na foto 3 temos um grupo de garotas do 3º ano turma B. Na imagem 4 temos um detalhes do grupo de alunos acompanhando a execução do experimento





Fonte: O autor, 2017.

5.1.3 Análise e tratamento dos dados.

Primeiramente reunimos todos os valores de tempos coletados pelos alunos numa única tabela onde realizamos uma breve análise observando se havia regularidade nos valores, ou seja, observamos se os valores dos tempos coletados se mantinham na mesma faixa, sem variações muito grandes para um mesmo movimento. Essa regularidade deverá ser observada uma vez que a coleta dos tempos foi feita com base na movimentação uniforme da gotícula de óleo na câmara do experimento.

A não existência dessa regularidade implicaria em resultados errados o que levaria, igualmente, a conclusões erradas obrigando as equipes a refazer as medidas. Tendo em vista que o valor da carga elementar já está posto, definido, essa prática se enquadraria, segundo o quadro 1 apontado por Oliveira, como uma atividade de verificação e não um ato investigativo em si, no entanto, ao analisar os valores dos tempos coletados, observando a coerência dos mesmos em relação a dinâmica das gotículas, preserva-se a condição básica da atividade experimental – verificar a concordância dos dados experimentais com as previsões teóricas.

Verificada a regularidade, iniciamos o tratamento dos dados com a determinação dos tempos médios para cada movimento das gotículas como indicado na tabela 1. De posse desses valores passamos ao cálculo para determinação das cargas elétricas presente nas gotículas em função de suas velocidades de subida e descida, como prevê as equações deduzidas a partir da análise das forças envolvidas. Tendo em vista a utilização de expressões matemáticas não convencionais para alunos do ensino médio, e visando agilizar o processo dos cálculos, recorreremos a um software editor de planilhas para nos auxiliar nos cálculos

da carga elétrica da gotícula e na determinação do raio médio das mesmas. Antes, porém, fizemos questão de mostrar aos alunos a dedução das expressões matemáticas utilizadas por meio do equacionamento das forças às quais está submetida a gotícula no interior da câmara capacitiva. Estas equações estão descritas no item II da sessão “procedimentos para análise” do roteiro do aluno (ANEXO B).

Tabela 1 - Tabela de tempos cronometrados para gotículas de óleo dentro da câmara do experimento de Millikan, GR refere-se ao GRUPO; ts refere-se aos tempos de subida da gotícula e td aos tempos de descida da gotícula.

Grupo	Gota	Tempo	t1	t2	t3	t4	t5	tmédio
GR-1	1	ts	3,47	3,24	3,28	3,34		3,33
		td	1,9	1,83	1,24	2,07		1,76
	2	ts	7,13	6,78	7,11			7,01
		td	4,18	4,36	4,62			4,39
	3	ts	5,9	5,2	6,23	6,07		5,85
		td	4,48	2,73	2,89	2,88		3,25
	4	ts	5,45	5,38	5,6	5,48		5,48
		td	4,3	4,07	4,08	4,41		4,22
	5	ts	4,01	4,93	4,89	4,68	5,37	4,78
		td	2,47	2,41	2,41	2,65	2,53	2,49
GR-2	6	ts	4,12	3,91	6,37	6,36		5,19
		td	2,75	2,68	3,18	3,32		2,98
	7	ts	3,01	2,88	3,06	2,95		2,98
		td	2,02	2,07	1,92	1,87		1,97
	8	ts	3,88	3,88	3,7	3,64	4,14	3,85
		td	2,31	2,32	2,1	2,12	2,11	2,19
	9	ts	3,26	3,58	4,08	4,08		3,75
		td	1,94	1,71	1,98	2,03		1,92
	10	ts	3,05	3,11	4,16	4,32		3,66
		td	2,36	2,38	2,68	2,64		2,52
GR-3	11	ts	1,74	1,62	1,56	1,58	1,73	1,65
		td	1,06	1,07	1,01	0,96	1,05	1,03
	12	ts	2,49	2,93	2,61	2,74	2,98	2,75
		td	1,43	1,42	1,31	1,4	1,64	1,44
	13	ts	2,03	2	1,92	2	1,91	1,97
		td	1,29	1,19	1,19	1,16	1,22	1,21
	14	ts	2	2,23	2,38	2,34	2,51	2,29
		td	1,27	1,59	1,43	1,5	1,76	1,51
	15	ts	2,32	2,36	2,3	2,98	2,38	2,47
		td	1,46	1,35	1,37	1,42	1,8	1,48

Fonte: O autor, 2017.

Definidas as equações a serem utilizadas, elaboramos então uma nova planilha inserindo as referidas equações e passamos alimentá-la com os dados dos tempos médios calculados. Levando em consideração as distâncias para tomada de tempo de cada equipe, obtivemos a seguinte tabela.

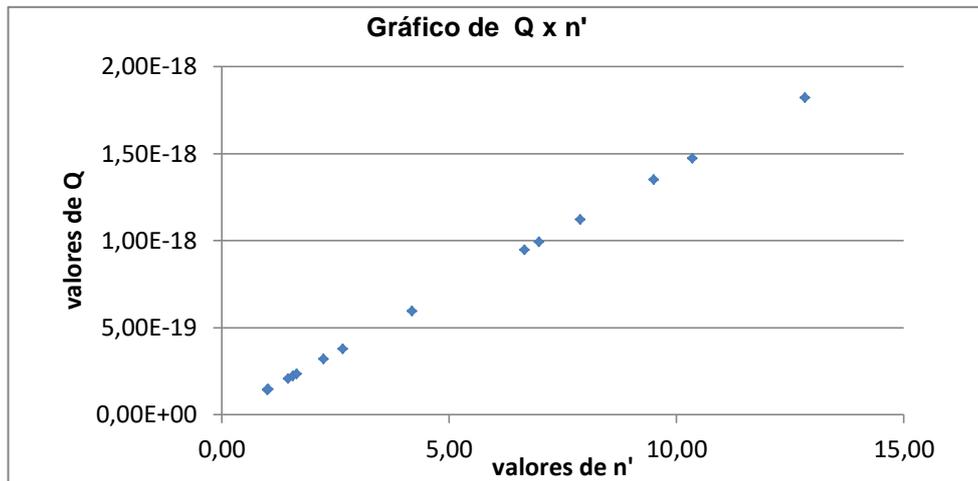
Tabela 2 - Tabela resultante da planilha para cálculo do raio e da carga elétrica de cada gotícula. (Δs) espaçamento entre as linhas da escala micrométrica utilizado para tomada de tempo por cada equipe; (V_s e V_d) Velocidades de subida e descida respectivamente; (R_s e R_d) Raios estimados das gotículas durante a subida e descida respectivamente; ($R_{méd}$) Raio médio de cada gotícula; (Q) Carga elétrica estimada para cada Gotícula.

Calculando o raio e a carga da gotícula						
ΔS (m)	V_s (m/s)	V_d (m/s)	R_s (m)	R_d (m)	$R_{méd.}$ (m)	Q (C)
0,000594	1,78E-04	3,38E-04	2,44E-06	3,36E-06	2,9E-06	9,91E-19
	8,48E-05	1,35E-04	1,69E-06	2,13E-06	1,91E-06	2,07E-19
	1,02E-04	1,83E-04	1,84E-06	2,48E-06	2,16E-06	3,77E-19
	1,08E-04	1,41E-04	1,91E-06	2,17E-06	2,04E-06	1,42E-19
	1,24E-04	2,38E-04	2,04E-06	2,83E-06	2,43E-06	5,93E-19
0,000297	5,72E-05	9,96E-05	1,38E-06	1,83E-06	1,61E-06	1,46E-19
	9,98E-05	1,51E-04	1,83E-06	2,25E-06	2,04E-06	2,22E-19
	7,72E-05	1,35E-04	1,61E-06	2,13E-06	1,87E-06	2,34E-19
	7,92E-05	1,55E-04	1,63E-06	2,28E-06	1,95E-06	3,18E-19
	8,11E-05	1,18E-04	1,65E-06	1,99E-06	1,82E-06	1,44E-19
0,000594	3,61E-04	5,77E-04	3,48E-06	4,4E-06	3,94E-06	1,82E-18
	2,16E-04	4,13E-04	2,69E-06	3,72E-06	3,2E-06	1,35E-18
	3,01E-04	4,91E-04	3,18E-06	4,06E-06	3,62E-06	1,47E-18
	2,59E-04	3,93E-04	2,95E-06	3,63E-06	3,29E-06	9,46E-19
	2,41E-04	4,01E-04	2,84E-06	3,67E-06	3,25E-06	1,12E-18

Fonte: O autor, 2017.

Ao finalizarmos o preenchimento da planilha percebemos a razoabilidade dos dados. Dando sequência a análise, passamos então à determinação da carga elétrica fundamental. Para isso, reagrupamos as cargas calculadas de cada gotícula em ordem crescente, em seguida, tomamos o menor valor de carga obtido e dividimos todos os demais por este valor. Fazendo isso, encontramos um fator multiplicador n' e, em seguida, plotamos um gráfico (fig. 14) de $Q \times n'$. Esse gráfico revela o agrupamento das cargas tendem a se agrupar entorno de determinados valores médios indicando assim estarem em níveis energéticos diferentes. Tal agrupamento possibilita a distinção dos possíveis níveis eletrônicos. Este procedimento é sugerido por (SARAIVA, HAMAGUCHI e ONO).

Figura 14 - Gráfico da quantidade de carga elétrica presente em cada gotícula em função do fator multiplicador n' devido a menor carga calculada.



Fonte: O autor, 2017

Feito isto, calculamos a média das cargas elétricas que apresentavam estar no mesmo nível, calculando em seguida a diferença entre essas cargas e por fim calculando a média final onde obtivemos como resultado o valor de $1,68 \times 10^{-19}$ C como descrito na tabela 3. Calculando o erro percentual em relação à carga elétrica fundamental, admitida pela literatura, encontramos um erro de aproximadamente 5,0 % para mais.

Tabela 3 - Cálculos finais para a determinação da carga elétrica fundamental.

Q (C)	n^*	$\langle Q \rangle$	ΔQ	
1,42E-19	1,00	1,44E-19	6,31E-20	
1,44E-19	1,01	2,07E-19	2,10E-20	
1,46E-19	1,03	2,28E-19	8,98E-20	
2,07E-19	1,46	3,18E-19	5,96E-20	
2,22E-19	1,57	3,77E-19	2,16E-19	
2,34E-19	1,65	5,93E-19	3,75E-19	
3,18E-19	2,24	9,69E-19	1,52E-19	
3,77E-19	2,66	1,12E-18	2,29E-19	
5,93E-19	4,18	1,35E-18	1,21E-19	
9,46E-19	6,66	1,47E-18	3,51E-19	
9,91E-19	6,98	1,82E-18	1,68E-19	$\langle \Delta Q \rangle$
1,12E-18	7,89			
1,35E-18	9,50			
1,47E-18	10,35			
1,82E-18	12,82			

Fonte: O autor, 2017.

Na tabela acima n representa o fator multiplicador das cargas elétricas calculadas em relação ao menor valor estimado; $\langle Q \rangle$ representa a média das cargas que apresentam valores próximos indicando assim estarem no mesmo nível, ΔQ representa a diferença entre as médias das cargas e $\langle \Delta Q \rangle$ representa média total das cargas calculadas.

5.1.4 Avaliação da aplicação e dos resultados obtidos.

Para que pudéssemos avaliar o trabalho desenvolvido precisamos estabelecer critérios e observar se os mesmos foram satisfeitos, um dos primeiros critérios que podemos atribuir é o tempo de execução e, a distribuição das atividades propostas no tempo de aula. Numa breve avaliação o tempo estipulado se mostrou suficiente para a execução, no entanto, salientamos que pelo fato de termos trabalhado com um número menor de alunos que o previsto, acreditamos que durante a fase de coleta de dados um tempo maior seria mais apropriado. Percebemos que boa parte dos 30min dado para cada equipe para coleta dos tempos fora utilizado para a definição de como as medidas iriam ser tomadas. Nesse tempo os alunos avaliaram a resposta dos comandos, isto é, se uma gota estava respondendo à inversão do campo elétrico no interior da câmara capacitiva, qual a distância que deveria ser considerada para a tomada dos tempos e a partir de que momento, se a gotícula estaria subindo ou descendo.

Todo esse processo levava em média uns 3min por gotícula, o que reduz o tempo efetivo para coleta de dados pela metade. Assim, reforçamos que se a proposta for utilizada em com um conjunto maior de estudantes o tempo de 120min estipulado na sequência não será suficiente.

Outro critério a ser levado em conta e que está intimamente ligado ao anterior é a eficiência da sequência proposta, ou seja, se os objetivos de cada etapa do planejamento realmente são condizentes com o tempo estipulado. Neste quesito afirmamos que sim, toda a sequência se mostrou perfeitamente factível dentro do tempo proposto, com as ressalvas do item anterior.

Um terceiro critério é o da eficácia. Este fator reflete a qualidade na execução, e para que possamos dizer se a sequência foi ou não eficaz é essencial verificar se todo o escopo, os objetivos e as etapas do planejamento foram executados a contento. Neste quesito, infelizmente, nossa avaliação é negativa justificada, talvez,

por influências externas. Infelizmente, devido à posição da coordenação da escola em dispensar os alunos já considerados aprovados fez com que o desenvolvimento da sequência fosse parcialmente prejudicado, pois, um grande número de alunos deixou de frequentar as últimas aulas, ademais, os alunos participantes da aplicação não cumpriram com todas as tarefas planejadas, a saber, responder aos questionários presente no roteiro. Questionários estes que nos possibilitaria uma avaliação comparativa com o questionário pré-aplicação. O não cumprimento dessa etapa pode ser explicado em função da ansiedade dos alunos face concentração no cumprimento da tarefa de cronometrar os tempos de cada gotícula.

Por último a efetividade ou, a validade do trabalho. Julgamos ser positiva toda ação pedagógica que vise a melhoria do ensino de física e que busque despertar nos alunos uma visão menos abstrata desta disciplina. No tocante ao nosso trabalho, procuramos levar para os alunos uma experiência ativa, que lhes proporcionasse um momento de interação com a busca de um conhecimento, o fazer ciência. Neste sentido, e avaliando o comportamento dos alunos participantes, acreditamos que sim, o projeto desenvolvido atendeu satisfatoriamente ao critério.

Sobre o envolvimento dos alunos na aplicação, notamos principalmente nos que de fato realizaram o experimento, que houve real interesse em realizar o procedimento, apesar de não o fazerem diretamente no aparato experimental. A atitude e o comprometimento em realizar as medidas foram as mesmas de um experimentador que trabalhe diretamente com o equipamento, o que nos permite dizer que a manipulação de um equipamento remoto não deprecia a atividade experimental.

Sobre os resultados obtidos, nos surpreendemos quando, ao iniciarmos os cálculos para determinação das cargas presentes nas gotículas encontramos valores muito próximos do valor aceito na literatura e, ao computarmos o valor médio final obtivemos um valor aceitável principalmente levando em consideração as circunstâncias da realização do experimento: operação remota, que pode sofrer influências da velocidade de conexão entre os computadores cliente-servidor; cronometragem manual, opção preferida pelos alunos participantes e, ineditismo do experimento com alunos do ensino médio. Diante disso, consideramos satisfatório o resultado alcançado.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS.

Durante este trabalho pudemos perceber que aprender é um processo histórico, individual e ao mesmo tempo coletivo. Aprender depende tanto de fatores externos quanto internos e que não é finito. Percebemos também que, para que o processo de ensino-aprendizagem ou aprendizagem-ensino seja eficaz é necessário levar em conta que todo sujeito tem seu modo e tempo para aprender e que os conhecimentos previamente existentes devem ser considerados, ou seja, deve existir um elo entre as experiências cognitivas dos alunos e o que será aprendido, caracterizando-se em ações interativas e cumulativas.

O professor é, portanto, o responsável por fazer esse elo. Ele deve encarar o desafio de superar o já tão desgastado cenário de ensino que se resume a uma docência solitária, com planejamentos de aulas imutáveis e totalmente desvinculadas do novo cenário social. O docente deve, portanto, atentar para uma nova concepção de organização pedagógica, onde o conhecimento se torna globalizador, fazendo com que haja uma ponte entre a teoria e a realidade de seus alunos e que a forma de ensinar seja dinâmica.

Neste sentido a introdução de aulas experimentais, desde que bem estruturadas, com objetivos claros e adequadas à promoção de um pensamento realmente crítico contribuirão de forma significativa haja vista sua potencialidade para despertar a curiosidade, a interação social e a promoção de um ambiente de discussões. Assim, neste trabalho procuramos desenvolver um produto que pudesse contribuir com essa dinâmica da sala de aula, oportunizando a alunos e professores uma alternativa viável às alegações de falta de equipamentos e de laboratório para a realização de aulas praticas.

Diante dos testes prévios realizados pudemos perceber o quão significativo uma proposta como a nossa pode ser. Em nossa aplicação percebemos um real comprometimento dos alunos envolvidos e que de fato, o produto desenvolvido cumpriu o papel para o qual foi destinado, tornando possível a realização de um experimento clássico e moderno sem comprometimento das características que definem a prática experimental – a existência de um aparato experimental, de um procedimento a ser realizado e da observação de um fenômeno sob condições

controladas. Ademais os resultados obtidos na aplicação situaram-se numa faixa completamente aceitável, diferenciando-se do valor encontrado na literatura, para a carga elementar do elétron, cerca 4,86 %. Grata foi a nossa surpresa ao saber que, mesmo em procedimentos similares realizados com alunos do curso de graduação em física da Universidade Federal de Alagoas a margem de erro destes está um pouco acima da nossa, podendo ser justificada, talvez, pelo método empregado na análise dos dados.

Assim, acreditamos que esta aplicação apresenta grande potencial como estratégia didática para o aprimoramento e consolidação de conceitos, uma vez que oferece a possibilidade de colocar à disposição da comunidade estudantil, seja de professores e alunos da educação básica ou de cursos de formação à distância ou até mesmo presenciais, dispositivos e equipamentos antes inacessíveis, mas que, devido a atual realidade tecnológica é possível superar as barreiras que limitam seu acesso.

REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, M. S. T.; ABIBI, M. L. V. D. S. Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 25, n. 2, p. 176-194, Junho 2003. ISSN eISSN 1806-9126.
- BORGES, T. A. Novos rumos para o laboratorio escolar de cienticas. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, Florianópolis, v. 19, n. 3, p. 414, 01 dez. 2002. ISSN 2175-7941.
- BRASIL. Ministerio da Educação. **Lei de Diretrizes e bases da Educação Nacional**, 20 dez. 1996. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L9394.htm>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- BRASIL. Publicações. **Portal do Ministerio da Educação**, 2017. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/ciencian.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.
- CARDOSO, D. C. Experimentação remota em atividades de ensino formal: Um estudo a partir de periódicos Qualis A. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 3, p. 185-208, Setembro-Dezembro 2011. ISSN e-ISSN 1984-2686.
- CARDOSO, D. C.; TAKAHASHI, E. K. Experimentação remota em atividade de ensino formal: Um estudo a partir de periódicos Qualis A. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**, v. 11, n. 3, p. 185-208, Setembro-Dezembro 2011. ISSN e-ISSN 1984-2486.
- CORDEIRO, L. P. Abordagens do processo ensino-aprendizagem: perspectiva de Mizukami. In: BRASIL, U. L. D. **Didática: Organização do trabalho pedagógico**. 5ª. ed. Curitiba: Ibpx, 2007. Cap. 3, p. 57-64.
- CREASE, R. P. **Os dez mais belos experimentos científicos**. Tradução de Maria Inês Duque Estrada. Rio de Janeiro: ZAHAR, 2006. ISBN ISBN 85-7110-946-X.
- DA SILVA, E. G.; PEREZ, A. L. F. **APLICAÇÃO DE HARDWARE DE BAIXO CUSTO NA AUTOMAÇÃO RESIDENCIAL**. Anais do II Simósio de Integração Científica e Tecnológica do Sul Catarinense. Araraguá: [s.n.]. 2013. p. 171-180.
- EDUA. A descoberta do eletron. **Partículas elementares: 100 anos de descobertas**, Manaus, p. 13, 2005.
- FREIRE, P. **Pedagogia da Autonomia: Saberes necessários à prática educativa**. 25ª. ed. São Paulo: Paz e Terra, 1996.
- KALHIL, J. B.; MENEZES, A. P. S. Os desafios do Ensino de Física e Ciências na Amazônia anta às TIC's. **Latin-American Journal of Physics Education** , v. 2, n. 3, p. 228-232, Setembro 2008. ISSN 1870-9095.
- KRASILCHIK, M. REFORMAS E REALIDADE: O caso do ensino das ciências. **São Paulo em Perspectiva**, São Paulo, v. 14, n. 1, p. 85-93, Janeiro-Março 2000. ISSN eISSN 1806-9452.
- LEFRANCOIS, G. R. **Teorias da Aprendizagem: o que a velha senhora disse**. Tradução da 5ª edição norte-americana. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

LEOPOLDO, L. P. M. Integração de mídias nos espaços de aprendizagem. **Em aberto**, Brasília, 22, n. 79, Janeiro 2009. 1-197.

LIBÂNIO, J. C. **Democratização da escola pública**: a pedagogia crítico-social dos conteúdos. 18^a. ed. São Paulo: Loyola, 2002.

LOURENCETTI, G. D. C. A baixa Remuneração dos Professores: Algumas repercursões no cotidiano da sala de aula. **Revista Educação Pública**, Cuibá, v. 23, n. 52, p. 13-32, Janeiro-Abril 2014. ISSN e-ISSN 2238-2097.

LUCKESI, C. C. **Avaliação da aprendizagem escolar**. 17^a. ed. São Paulo: Cortez, 2005.

MARTINAZZO, C. A.; TRENTIN, D. S.; FERRARI, D. Arduino: Uma Tecnologia no ensino de física. **Perspectiva**, Erechim, v. 38, n. 143, p. 21 - 30, Setembro 2014. ISSN 0101-2908.

MOREIRA, M. A. **Teorias da Aprendizagem**. 2^a. ed. São Paulo: EPU, v. UNICO, 1999.

MOREIRA, M. A. Ensino de física no Brasil: Retospectivas e Perspectivas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 22, n. 1, p. 94-99, Março 2000. ISSN eISSN 1806-9126.

OLIVEIRA, J. R. S. Contribuições e abordagens das atividades experimentais no ensino de ciencias: reunindo elementos para a pratica doscente. **Revista de Ensino de Ciencias e Matemática**, Canoas, v. 12, n. 1, p. 139-153, Junho 2010. ISSN on-line: 2178-7727.

PELLIZARI, A. et al. TEORIA DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA SEGUNDO AUSUBEL. **Portal do professor**, Julho 2001-2002. Disponível em: <<http://portaldoprofessor.mec.gov.br/storage/materiais/0000012381.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2017.

PERRENOUD, P. **Dez novas competencias para ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 2000.

RODRIGUES, R. F. D. **Arduino como ferramenta mediadora no ensino de física**. Porto Alegre: [s.n.], 2014. 90 p. Mestrado em ensino de física.

ROSA, C. W. D.; ROSA, Á. B. D. Ensino de Física: Objetivos e imposições no ensino médio. **Revista Eletronica de Enseñanza de las Ciencias**, v. 4, n. 1, 2005. ISSN 1579-1513.

SARAIVA, D. C.; HAMAGUCHI, H.; ONO, L. K. Google Acadêmico. **researchgate.net**, São Paulo. Disponível em: <https://scholar.google.com.br/scholar?cluster=3674622005608510661&hl=pt-BR&as_sdt=0,5>. Acesso em: Abril 2015.

SCHUHMACHER, E. Física experimental auxiliada por laboratorio virtual. **Cienciaamao**, Jaboticatubas, p. 1-4, 2004. Disponível em: <http://www.cienciaamao.usp.br/dados/snef/_fisicaexperimental auxili.trabalho.pdf>. Acesso em: 25 ago. 2017.

SERAFIM, M. L.; SOUSA, R. P. D. MUltimidia na educação: o vídeo digital integrado ao contexto escolar. In: SOUSA, R. P. D.; MOITA, F. M. C. D. S. C.; CARVALHO, A. B. G. **Tecnologias Digitais na Educação**. 21^a. ed. Campina Grande: eduepb, 2011. p. 19-50.

SILVA, O. H. M.; MATHIAS, L. C. Possíveis Aplicações do Arduino em Equipamentos Interativos de Ambientes Planejados à Educação Não Formal: uma proposta equivalente nas escolas. **Novas Tecnologias na Educação**, v. 13, n. 1, Julho 2015. ISSN 1679-1916.

SOUSA, M. D. O.; COZENDEY, S. G.; PESSANHA, M. C. R. Desenvolvimento de uma ferramenta para o ensino de física experimental a distância. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 32, n. 4, p. 2-10, 2010. ISSN e-ISSN 1806-9126.

UNIVERSIDADE DO COLORADO. PHET Interactive Simulations. **Simulações**, 2017. Disponível em: <https://phet.colorado.edu/pt_BR/>. Acesso em: Agosto 2017.

VIANA, M. A. P.; SANTOS, R. M. B. **Introdução ao uso das TIC na educação**. Maceió: EdUFAL, 2014.

VYGOSTSKY, L. S. **A formação Social da Mente**. 4ª. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1991.

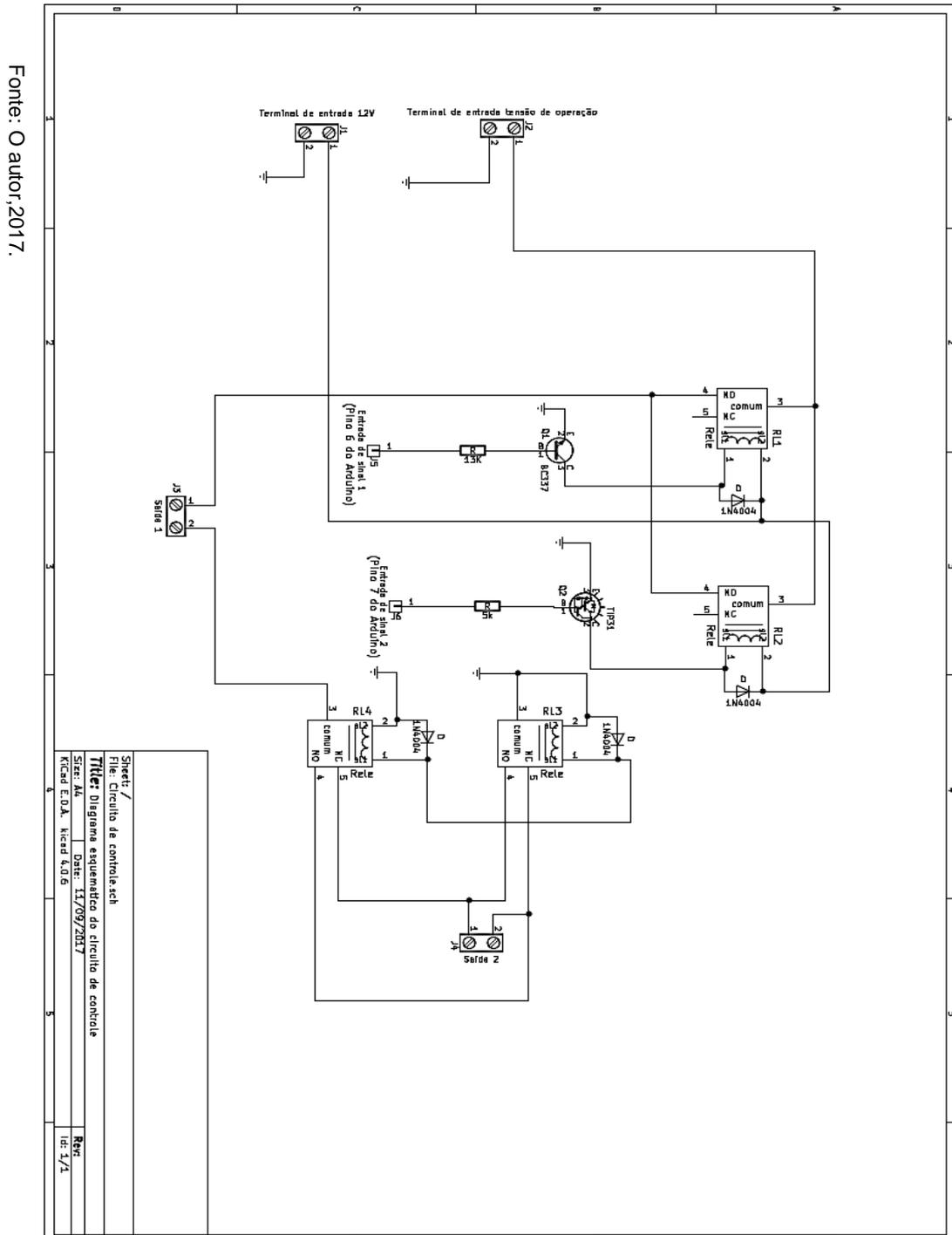
ZIMRING, F. **Carl Rogers**. Tradução de Marcos Antônio Lorieri. Recife: Massangana, 2010. 142 p. ISBN 978-85-7019-545-6. Coleção Educadores MEC.

APÊNDECES

APÊNDICE A - Diagramas esquemáticos

A1 - Esquemático do circuito de controle

A figura abaixo descreve o diagrama esquemático do circuito da placa de controle. Para seu desenvolvimento utilizamos o software KiCad (open source).



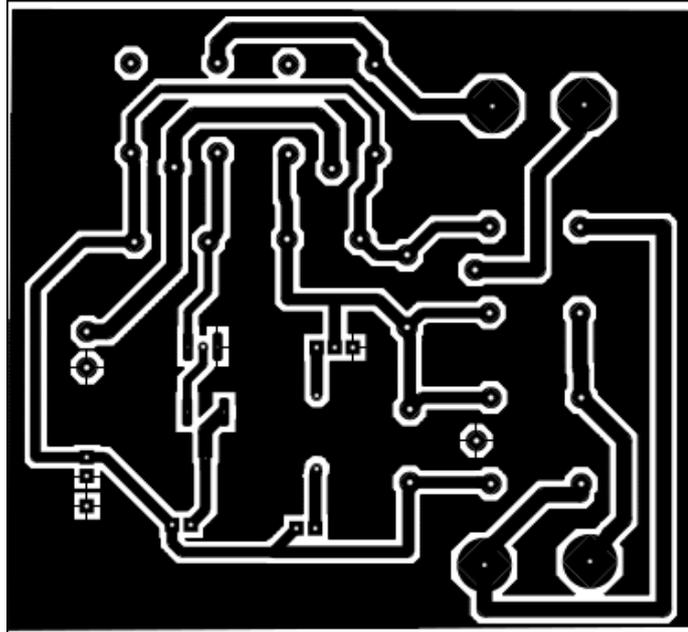
Fonte: O autor, 2017.

Figura 15 - Diagrama do circuito da placa de controle.

A2 - Mascara para confecção do circuito em placa de fenolite.

Na imagem abaixo apresentamos a mascara para a confecção do circuito em uma placa de fenolite. As dimensões da placa são de 90 mm x 97,5mm.

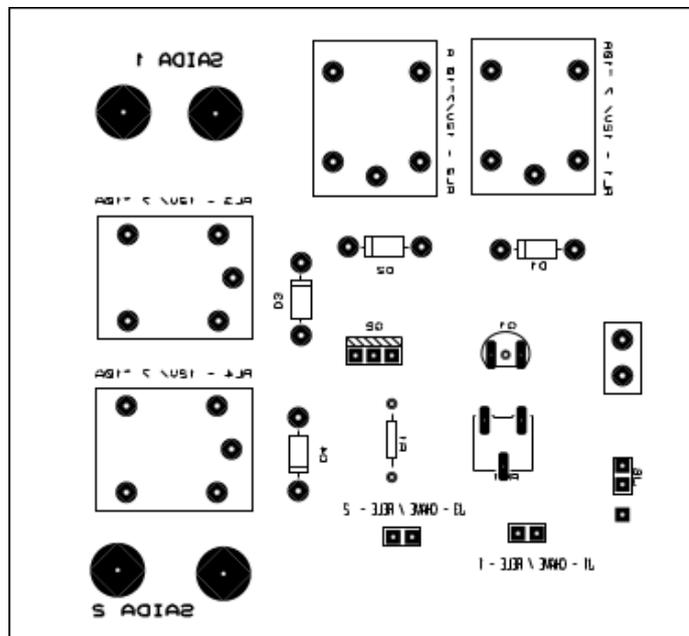
Figura 16 - Mascara para se aplicada no lado cobreado da placa de fenolite.



Fonte: O auto, 2017.

A figura a baixo ilustra a label da placa com a indicação da posição dos componentes.

Figura 17 - Labels dos componentes (Parte superior da placa de fenolite)

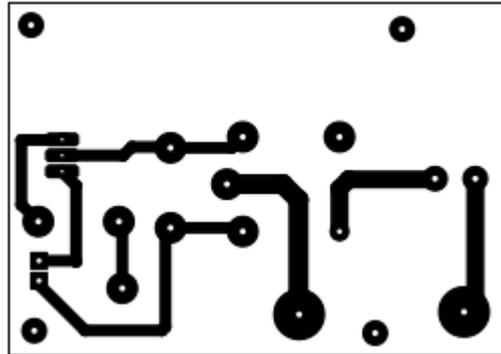


Fonte: O autor, 2017.

A4 - Mascaras para confecção do circuito de controle do pulverizador.

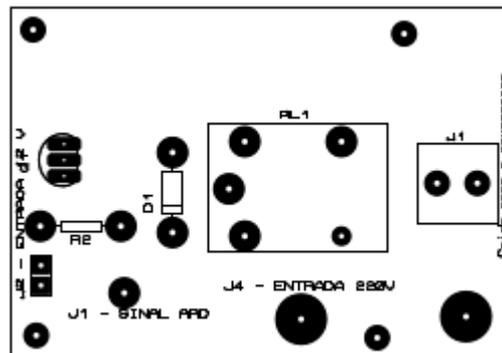
As figuras abaixo apresentamos as mascaras para confecção dos circuitos para controle do soprador e a label dos componentes.

Figura 19 - Mascara para confecção das trilhas do circuito na placa de fenolite.



Fonte: O autor, 2017.

Figura 20 - Label dos componentes na placa de fenolite. (parte superior da placa)



Fonte: 1 O autor, 2017.

APÊNDICE B - Códigos dos programas desenvolvidos

B1 - Controle de Chaveamento.

O código a baixo deve ser gravado no Arduino. Esse código será responsável pelo envio dos sinais elétricos para chaveamento dos relés na placa atuadora desenvolvida. Para isso, deve-se apenas copiar e colar o código na IDE do Arduino.

//código de controle para chaveamento.

```
#define releA 5

#define releB 7

#define releC 8

static const char releA_on = '1';
static const char releA_off = '2';
static const char releB_on = '3';
static const char releB_off = '4';
static const char releC_on = '5';
static const char releC_off = '6';
static const char ask = '0'; // "ask" = pergunta
static const char ack = '0'; // "acknowledgement" = reconhecimento

void setup() {
  Serial.begin(57600);
  pinMode(releA, OUTPUT);
  pinMode(releB, OUTPUT);
  pinMode (releC, OUTPUT);
}

void loop() {
  if (Serial.available()) {
```

```
switch( (char)Serial.read() ) {  
  case ask:  
  case 0:  
    Serial.print(ack);  
    break;  
  case releA_on:  
    digitalWrite(releA, HIGH);  
  //  Serial.println("Rele A ligado");  
    break;  
  case releA_off:  
    digitalWrite(releA, LOW);  
  //  Serial.println("Rele A desligado");  
    break;  
  case releB_on:  
    digitalWrite(releB, HIGH);  
  //  Serial.println("Rele B ligado");  
    break;  
  case releB_off:  
    digitalWrite(releB, LOW);  
  //  Serial.println("Rele B desligado");  
    break;  
  case releC_on:  
    digitalWrite(releC, HIGH);  
  //  Serial.println("Rele C Ligado");  
    break;  
  case releC_off:  
    digitalWrite(releC, LOW);
```

```
// Serial.println("Rele C desligado");
    break;
}
}
}
```

B2 - Código da interface de comando em Processing.

Igualmente ao código do Arduino, abra a interface de desenvolvimento (IDE) do Processing, copie e cole os códigos a baixo. Atente para os comentários em alguns pontos para as devidas correções. Deve-se criar duas abas de código,

B2.2 - (ArduinoCom): Código para localização de porta em que se encontra o Arduino.

```
import processing.serial.*;

// Comandos para Arduino
static char arduino_ask = '0'; // "ask" = pergunta
static char arduino_ack = '0'; // "acknowledgement" = reconhecimento

class Arduino {
    private Serial porta;
    private PApplet parent;
    private boolean arduinoDisponivel;
    private String mybuffer;

    // Construtor 1
    Arduino(PApplet parent) {
        this.parent = parent;
        porta = null;
        arduinoDisponivel = false;
        mybuffer = "";
        procurarPortaArduino();
    }

    // Construtor 2
    Arduino(PApplet parent, String porta) {
        this.parent = parent;
        this.porta = new Serial(parent, porta, 57600);
    }
}
```

```

    arduinoDisponivel = true;
    arduinoDisponivel = false;
    mybuffer = "";
}

boolean disponivel() {
    return arduinoDisponivel;
}

private void procurarPortaArduino() {
    arduinoDisponivel = false;
    mydebug("Procurando arduino:");

    // verificar cada porta serial
    for (int i = Serial.list().length - 1; i >= 0; --i) {
        String portaAtual = Serial.list()[i];
        porta = new Serial(parent, portaAtual, 57600);

        // limpar "buffer"
        porta.clear();
        delay(2000);

        // procurar arduino
        porta.write(arduino_ask);
        delay(2000);
        char tmp = (char)-1;
        if (porta.available() > 0) {
            tmp = porta.readChar();
        }
        if (tmp == arduino_ack) {
            arduinoDisponivel = true;
            mydebug("\tArduino encontrado na porta: " + portaAtual);
            porta.clear();
            break; // arduino encontrado
        } else {
            mydebug("\tSem resposta na porta: " + portaAtual);
        }
        porta.stop(); // fechar porta
    }
}

void serialEvent(Serial p) {
    mybuffer = p.readString();
    mydebug(mybuffer);
}

```

```

}

void enviar(char c) {
    if (arduinoDisponivel)
        porta.write(c);
}

void enviar(byte[] src) {
    if (arduinoDisponivel)
        porta.write(src);
}

char lerChar() {
    if (arduinoDisponivel)
        return porta.readChar();
    else
        return (char)-1;
}

String lerString() {
    if (arduinoDisponivel)
        return porta.readString();
    else
        return null;
}

int lerInt() {
    if (arduinoDisponivel)
        return porta.read();
    else
        return -1;
}
}

```

B2.3 - (Interface): Código da interface de comando.

```
//Interface de controle
//importação de bibliotecas a serem usadas
import processing.video.*;

// declaração das imagens a serem utilizadas
static PImage mold;
static PImage circ_a;
static PImage circ_b;
static PImage paralelo;
static PImage antiparalela;
static PImage millikanImg;
static PImage fieldUp;
static PImage fielDown;
static PImage bolhas;
static PImage bolhasOff;
static PImage bolhasOn;
static PImage ledOff;
static PImage ledOn;
static PImage botaoOff;
static PImage botao;
static PImage left;
static PImage right;
static PImage caixaVazia;
static PImage caixaCheia;
static PImage reset1;
static PImage reset2;
static PImage ufal;
static PImage ppgecim;

// Variáveis de seleção de experimento
static boolean CONDUTORES_PARALELOS = true;
static boolean MILLIKAN = !CONDUTORES_PARALELOS;
boolean caixaSelecionada = MILLIKAN;

// Variável para cronômetro
int tempoReferencia;
IntList listaTempos;

// Comandos para Arduino
static char releA_on = '1';
static char releA_off = '2';
static char releB_on = '3';
```

```

static char releB_off ='4';
static char releC_on = '5';
static char releC_off = '6';

// Porta para comunicação com Arduino
Arduino arduino;

// Declaração para captura da cam
Capture cam;
//boolean cameraOn;

// Botões da tela
boolean inversor = false;

static boolean debug_on = true;
void mydebug(String str) {
  if (debug_on) println(str);
}

boolean mouseClicado() {
  return mousePressed && (mouseButton == LEFT);
}

boolean sopradorAccionado() {
  return mouseClicado()
    && 400 <= mouseX && mouseX <= 485
    && 250 <= mouseY && mouseY <= 280;
}

boolean inversoraAccionada() {
  return inversor;
}

boolean botao1_Accionado() {
  return mouseClicado()
    && 130 <= mouseX && mouseX <= 170
    && 470 <= mouseY && mouseY <= 540;
}

boolean botao2_Accionado() {
  return mouseClicado()
    && 330 <= mouseX && mouseX <= 370
    && 470 <= mouseY && mouseY <= 540;
}

```

```

// Configuração de variáveis
void setup() {
  size(1280, 800);
  background(121, 159, 165);
  textFont (createFont("GillSansMT",12));
  ufal = loadImage ("brasao-ufal.png");
  ppgcim = loadImage ("logo_ppgcim.png");
  mold = loadImage ("moldura.png");
  circ_a = loadImage ("circuito a.png");
  circ_b = loadImage ("circuito b.png");
  paralelo = loadImage("corrente paralela.png");
  antiparalela = loadImage ("corrente antiparalela.png");
  millikanImg = loadImage ("millikan.png");
  bolhas = loadImage ("bolhas.png");
  bolhasOn = loadImage ("bolhas_on.png");
  bolhasOff = loadImage ("bolhas_off.png");
  fieldUp = loadImage ("fieldUp.png");
  fielDown = loadImage ("fielDown.png");
  ledOff = loadImage("Rledoff.png");
  ledOn = loadImage("Rledon.png");
  botaoOff = loadImage("botoff.png");
  botao = loadImage("boton.png");
  left = loadImage("left.png");
  right = loadImage("right.png");
  caixaVazia = loadImage("cx_vazia.png");
  caixaCheia = loadImage("cx_cheia.png");
  reset1 = loadImage("reset_off.png");
  reset2 = loadImage("reset_on.png");

  //arduino = new Arduino(this, "COM11");
  arduino = new Arduino(this);
  if ( ! arduino.disponivel())
    mydebug("Arduíno não encontrado.");

  // Inicialização da camera

  // xxxxxxxx corresponde ao nome da câmera que esta sendo utilizada. Vericar no
  gerenciador de dispositivos do SO em uso.
  cam = new Capture(this, 640, 480, "xxxxxxx", 30);
  cam.start();
  //cameraOn = true;

```

```

tempoReferencia = 0;
listaTempos = new IntList();
}

// Configuração de tela
void draw() {
  // Inserindo moldura da cam
  image(mold, 525, 142);
  image(ufal, 270,10);
  image(ppgecim, 700,25);

  // Codigo da camera
  if (cam.available()) {
    cam.read();
    pushMatrix();
    scale(-1, 1);
    translate(-cam.width, 0);
    image(cam, -537.5, 157);
    popMatrix();
  }

  // Verificação de conectividade com Arduino
  if ( ! arduino.disponivel() ) {
    // TODO (para fazer): exibir mensagem de erro de comunicação
  }

  // Blocos de texto
  textSize(15);
  text("Janela de observação", 521, 670);
  text("Circuito de condutores paralelos", 545, 712);
  text("Experimento de Millikan", 545, 740);
  text("UNIVERSIDADE \nFEDERAL DE ALAGOAS", 350,70);
  text("PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO \nEM ENSINO DE CIÊNCIAS \nE
MATAMÁTICA", 800,45);
  fill(0, 22, 69, 222);

  if (caixaSelecionada == MILLIKAN) {
    // Inserindo moldura e imagen de circuitos
    image(fielDown, 16, 135);
    image(caixaVazia, 525, 700);
    image(caixaCheia, 525, 728);
    image(bolhasOff, 400, 250);
    image(reset1,110,140);// botão para resetar cronometro
    text("Chave Inversora", 238, 570);
  }
}

```

```

text("Cronometro", 15, 158);
for (int i = 0; i < listaTempos.size(); ++i) {
  text(str(listaTempos.get(i)), 18, 158 + (i+1)*15);
}
arduino.enviar(releA_on); // Inicia estado da placa

// Inversor de sentido das linhas de campo elétrico
if (inversoraAccionada()) {
  arduino.enviar(releB_on);
  image(right, 265, 470);
  image(fieldUp, 16, 135);
} else {
  image(left, 265, 470);
  arduino.enviar(releB_off);
}

// Comando do soprador
if (sopradorAccionado()) {
  arduino.enviar(releC_on);
  image(bolhasOn, 400, 250);
  image(bolhas, 253, 201);
} else {
  arduino.enviar(releC_off);
}
} else if (caixaSelecionada == CONDUTORES_PARALELOS) {
  // Inserindo moldura e imagen de circuitos
  image(circ_a, 15, 140);
  image(caixaCheia, 525, 700);
  image(caixaVazia, 525, 728);
  text("Paralela", 120, 560);
  text("Antiparalela", 315, 560);

  // Condição de envio de comando para o botão 1
  if (botao1_Accionado()) {
    arduino.enviar(releA_on);
    image(botao, 130, 470);
    image(ledOn, 140, 445);
    image(paralelo, 170, 166);
  } else {
    arduino.enviar(releA_off);
    image(botaoOff, 130, 470);
    image(ledOff, 140, 445);
  }
}

```

```

// Condição de envio de comando para o botão 2
if (botao2_Acionado()) {
    arduino.enviar(releB_on);
    image(botao, 330, 470);
    image(ledOn, 340, 445);
    image(circ_b, 15, 140);
    image(antiparalela, 170, 166);
} else {
    arduino.enviar(releB_off);
    image(botaoOff, 330, 470);
    image(ledOff, 340, 445);
}
}
}

// Seleção do experimento
void mouseClicked() {
    if ( (mouseButton == LEFT) && (525 <= mouseX && mouseX <= 728) )
        if (700 <= mouseY && mouseY <= 715)
            caixaSelecionada = CONDUTORES_PARALELOS;
        else if (728 <= mouseY && mouseY <= 743)
            caixaSelecionada = MILLIKAN;

    if (caixaSelecionada == MILLIKAN)
        if (190 <= mouseX && mouseX <= 325 && 470 <= mouseY && mouseY <= 550) {
            inversor = !inversor;
            if (tempoReferencia == 0) {
                tempoReferencia = millis();
                listaTempos.append(0);
            } else {
                listaTempos.append(millis() - tempoReferencia);
            }
        }
        if (110 <= mouseX && mouseX <= 125 && 140 <= mouseY && mouseY <= 165) {
            image(reset2, 110, 140); // botão para resetar cronometro
            tempoReferencia = 0;
            listaTempos = new IntList();
        }
    }
}

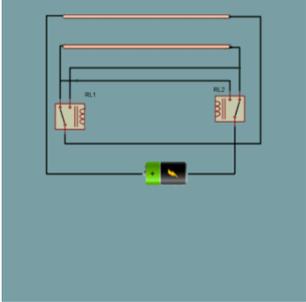
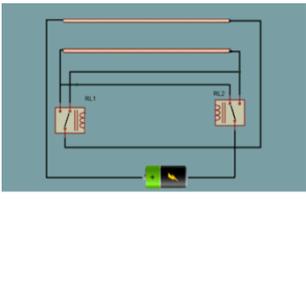
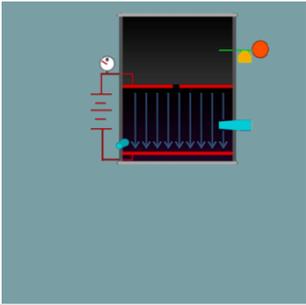
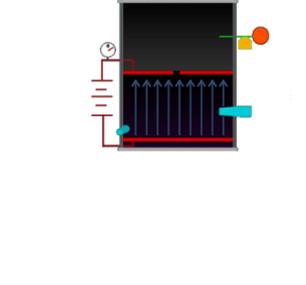
```

APÊNDICE C – Imagens Usadas na Interface Gráfica

As imagens a seguir devem ser colocadas numa pasta dentro da pasta raiz do software de comando com o título “Data”. Observar o dimensionamento de cada figura.

Quadro 2 - figuras utilizadas na interface de usuário.

	<p>Representação gráfica da bolhas no interior da câmara do aparato de Millikan. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 105 x 66.</p>
	<p>Representação gráfica dos botões que acionam o mecanismo borrifador no aparato de Millikan. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 85 x 25.</p>
	<p>Representação gráfica da caixa de seleção de experimento a ser realizado. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 15 x 15.</p>
	<p>Representação gráfica dos leds indicativos de acionamento de botões Lig/Desl. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 20 x 20.</p>
	<p>Representação gráfica da chave inversora de polaridade para o experimento de Millikan. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 60 x 80.</p>
	<p>Brasão da Universidade Federal de Alagoas - UFAL. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 75 x 128.</p>
	<p>Logotipo do Programa de Pós-graduação em Ensino de Ciências e Matemática da UFAL. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 92 x 92.</p>
	<p>Representação gráfica indicativa de sentido da corrente elétrica para o experimento de condutores paralelos. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 165 x 50.</p>
	<p>Representação gráfica dos botões Lig/Desl. para acionamento dos reles que invertem o sentido na corrente elétrica no experimento de condutores paralelos. Para uma reprodução, deve-se</p>

	<p>configurar um tamanho em pixels de 40 x 70.</p>
	<p>Representação gráfica do experimento de condutores paralelos em que a corrente percorre os dois condutores no mesmo sentido. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 480 x 480.</p>
	<p>Representação gráfica do experimento de condutores paralelos em que a corrente percorre os dois condutores em sentidos opostos. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 480 x 480.</p>
	<p>Representação gráfica do aparato de Millikan com a indicação do campo elétrico da placa superior para a inferior da figura. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 480 x 480.</p>
	<p>Representação gráfica do aparato de Millikan com a indicação do campo elétrico da placa superior para a superior da figura. Para uma reprodução, deve-se configurar um tamanho em pixels de 480 x 480.</p>

Fonte: O autor, 2017.

ANEXOS



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



ANEXO A - Sequência didática para atividade de investigação sobre a determinação da carga elétrica elementar – carga do elétron.

Autor
Tiago Rodrigues Barros
Tema
Física Moderna – a descoberta da carga elétrica elementar
Público alvo
Alunos do 3º ano do Ensino Médio
Tempo estimado
4 aulas de 60 min.
Problematização
O tema apresenta uma relação direta com o desenvolvimento da ciência. É importante levar os alunos a refletir sobre o papel fundamental das pesquisas e do aprofundamento do conhecimento sobre a natureza. Relativamente ao tema proposto a descoberta da carga elétrica do elétron, é de fundamental importância, pois trata-se de uma grandeza fundamental da natureza. Seu conhecimento possibilitou uma melhor compreensão das características físicas como: elétricas, térmicas, e químicas dos diferentes materiais o que potencializou o desenvolvimento tecnológico. Com isso, podemos então cumprir com a tarefa preconizada na LDB de garantir que os alunos do ensino médio compreendam os fundamentos científico-tecnológicos dos processos produtivos, relacionando a teoria com a prática, no ensino de cada
Objetivos gerais.
<ul style="list-style-type: none">• Compreender a natureza como um todo dinâmico, sendo o ser humano parte integrante e agente transformador do mundo em que vive;• Formular questões, diagnosticar e propor soluções para problemas reais, a partir do tema proposto, colocando em prática conceitos, procedimentos e atitudes desenvolvidos na sequência de ensino investigativa;• Saber combinar leituras, observações, experimentações, registros, para coleta de dados, organização, comunicação e discussão de fatos e informações.
Objetivos específicos.
<ul style="list-style-type: none">• Entender o conceito de quantização da carga, as forças envolvidas na determinação de seu valor e sua importância científica;• Relacionar o experimento ao método científico e reconhecer sua aplicação na ciência.• Perceber a construção histórica da ciência, trabalhar com textos históricos e desmistificar



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



as descobertas científicas.

Desenvolvimento da sequência.

A sequência será desenvolvida ao longo de 5 momentos durante 3 tempos de aula, onde cada tempo compreende um período de 120min, totalizando 6h de aula.

Aula	Momento da sequência.
1ª	1º momento: instigando e problematizando.
	2º momento: divisão das equipes e aplicação do questionário pré-investigativo.
2ª	3º momento: Discussões sobre a pesquisa sugerida e realização do experimento de Millikan.
3ª	4º momento: Análise dos dados e determinação da carga elétrica elementar.
	5º momento: Resolução ao questionário final.

1º MOMENTO: Instigando e problematizando.

Tempo estimado: 60min.

Metodologia: discussões orais e exposição teórica.

Procedimento:

Neste primeiro momento, será realizada uma revisão da estrutura da matéria, apresentando as primeiras noções sobre a estrutura atômica e sobre a natureza elétrica da matéria e, ao final, incumbiremos os alunos de fazerem uma pesquisa sobre como foi descoberto o valor da carga elétrica do elétron.

2º MOMENTO: Divisão de equipes e aplicação do questionário pré-investigativo.

Tempo estimado: 60min.

Metodologia: formação de equipes; resolução de questionário pré-investigativo; exposição de vídeo.

Procedimento:

Após as primeiras discussões, a turma será dividida em equipes de trabalho e será dado um questionário instigativo onde, a partir das primeiras concepções, os alunos deverão apresentar hipóteses sobre os principais conceitos e procedimentos utilizados para a determinação da carga elétrica fundamental. Após a resolução do questionário, faremos a exposição do vídeo "Os curiosos – O experimento de Millikan" produzido pelo grupo de pesquisa em ensino do Instituto Brasileiro de Educação, Tecnologia e Formação à Distância – IBTF.

Obs.: Todo o conteúdo utilizado como base para o desenvolvimento deste trabalho pode ser obtido em: http://34.196.161.148/acessa_fisica/index.php/acessafisica.

3º MOMENTO: Discussões sobre a pesquisa sugerida e realização do experimento de Millikan

Tempo estimado: 120min

Discussões sobre a pesquisa.

Tempo estimado: 20min.

Procedimento.

Neste momento buscamos averiguar se todas as equipes realizaram a pesquisa sugerida e qual a profundidade da mesma. Ao mesmo tempo, procuramos verificar a compreensão dos alunos sobre o experimento.

Realização do experimento.

Tempo estimado: 15min por equipe.

Após as discussões preliminares, as equipes serão convidadas a se dirigirem à sala de computadores onde cada equipe terá a disposição de 15min a 20min para manipular o experimento remotamente através da plataforma desenvolvida e coletar dados para posterior análise. Para a realização do experimento cada equipe terá a disposição um roteiro com os procedimentos para a correta utilização da



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



plataforma e com os pontos a serem observados e as orientações para a coleta dos dados.

4º MOMENTO: Análise dos dados e determinação da carga elétrica elementar.

Tempo estimado: 80min.

Procedimento.

Após a coleta dos dados teremos um momento para fazer a análise utilizando-se das equações desenvolvidas na aula teórica.

5º MOMENTO: Resolução ao questionário final.

Tempo estimado: 40min.

Ao final das atividades os alunos voltarão a responder um questionário sobre a atividade desenvolvida onde, neste questionário constarão as questões do respondidas anteriormente `realização do experimento e, posteriormente, lhes serão entregues os dois questionários para que possamos comparar as respostas antes e depois da atividade.

Avaliando a sequência de ensino investigativa

A avaliação é uma etapa importante na condução do processo ensino e aprendizagem, a partir das observações ao longo do trabalho pode-se reconduzir o processo de maneira que os alunos possam elaborar conceitos e, conseqüentemente desenvolver habilidades não só conceituais, mas procedimentais e atitudinais.

Extra.

Após a realização da sequência, os alunos participantes (foram ou poderão ser) convidados a visitar o Instituto de física da Universidade Federal de Alagoas para conhecerem os laboratórios de ensino e o experimento por eles realizado a distância. Na visita, os alunos (poderão ou terão) ter uma explanação por um dos professores sobre a importância dos experimento para a formação dos físicos de hoje.



ANEXO B - Roteiro do aluno

Determinando a carga elétrica elementar do elétron

Esta experiência trata da observação de gotas de óleo carregadas, que são aceleradas entre duas placas de um capacitor.

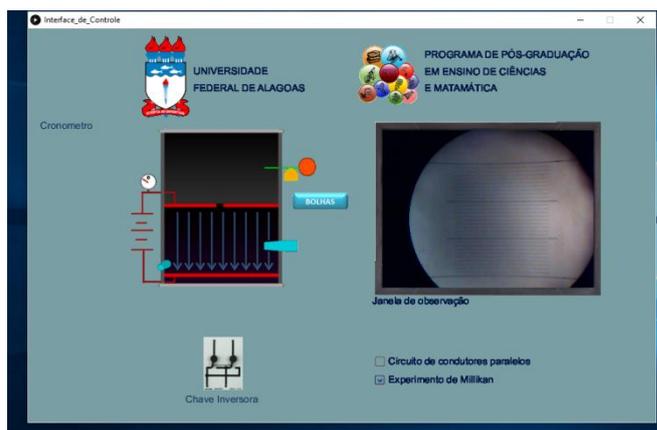
Objetivos:

- Observar o comportamento de gotículas de óleo ionizadas quando sob a ação de um campo elétrico.
- Medir alguns tempos de subida e de queda de gotículas de óleo para um dado potencial elétrico;
- Estimar a carga elétrica presente nas gotículas e, posteriormente a carga elementar e .

Orientações iniciais.

- a) Para a realização deste experimento você utilizará uma interface de controle (figura 1) que acionará uma chave inversora de polaridade da tensão aplicada às placas de um arranjo experimental que formam um capacitor.

Figura 21 - Tela do usuário para manipulação do experimento.



Fonte: O autor. 2017.

Nesta interface poderá se identificado os seguintes itens:

- Janela de observação – nesta janela será mostrando a imagem da câmera acoplada à luneta de observação utilizada para visualizar o andamento do experimento.
- Botão Chave inversora - pressionando esse botão será possível inverter a polaridade entre a placas que formam a câmara de bolhas do aparato de Millikan.



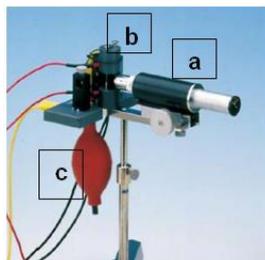
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



- Botão Bolhas – pressionando esse botão ativa-se o soprador que injetará ar no bulbo pulverizador de óleo do aparato de Millikan.
- Imagem ilustrativa do aparato de Millikan com animações dinâmicas representando as modificações ocorridas no aparato real em função da ativação dos botões “Chave inversora” e “bolhas”.

2 – O arranjo experimental utilizado para o experimento está ilustrado na imagem a baixo.

Figura 22 - Equipamento para determinação da carga elétrica fundamental.



Fonte: Manual de roteiros experimentais PHYWE.

- a – Microscópio de observação;
- b – câmara capacitiva;
- c – bomba manual do pulverizador de óleo.

3 - Inicialmente pressione o botão “bolhas” para que o Ar seja injetado no bulbo pulverizador de óleo até o surgimento das primeiras gotículas, que poderão ser visualizadas através da janela de observação.

Questões de observação.

1 – Qual o comportamento (movimento) das gotículas de óleo, observadas através da câmara, ao serem borrifadas?

2- Ao pressionar o botão representado pela chave paralela na interface de usuário, provoca-se a inversão da polaridade nas placas que formam o capacitor do equipamento. Descreva o comportamento das gotículas ao se provocar tal inversão. Todas reagem à inversão ou apenas algumas? De uma  justificativa para tal comportamento.

3 – A que forças as gotículas estão submetidas quando estão dentro da câmara do capacitor?

4 – Em qual situação as gotículas movem-se mais rápidas ou mais devagar e, a que se deve esse comportamento?



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



Procedimentos para coleta de dados.

- I. Quando as gotículas de óleo puderem ser vistas pressione o botão “Chave paralela”  e observe se alguma(as) gotícula(a)s inverte seu sentido de movimento.
- II. Uma vez percebido a resposta das gotículas à inversão do campo elétrico entre as placas do capacitor, defina o espaçamento para análise do movimento da gotícula utilizando para isso as linhas mais grossas da escala observável. Escolha uma gotícula que apresente um movimento mais ou menos uniforme e cronometre 10 pares de tempo, sendo 5 medidas de tempo para subidas e 5 medidas de tempo para descidas para o espaçamento definido. Realize este procedimento para 5 gotículas diferentes (melhores resultados podem ser obtidos com mais gotículas. 10 gotículas são uma quantidade razoável) . Anote os tempos na tabela 1 calculando em seguida o tempo médio de cada etapa.

Obs. Critérios para escolha da gotícula.

- A gotícula não deve se mover muito rapidamente, ou seja, deve possuir um movimento relativamente uniforme e não deve exibir movimentos enviesados.
- Some os tempos de algumas subidas com o primeiro cronômetro.

Procedimentos para análise.

- I. Após a coleta dos tempos calcule a velocidade da gotícula para o movimento de subida e descida. Para isso, considerar que a escala micrométrica apresenta 30 divisões, separadas por 3 blocos de 10 divisões cada totalizando 0,89mm. Assim, averigue o espaçamento utilizado para a tomada dos tempos e faça as devidas correções. Anote todos os valores calculados na tabela 2.
- II. Utilizando as equações desenvolvidas na aula teórica e, os valores das velocidades calculadas, estime a carga elétrica presente em cada gotícula. Estime também o raio das gotículas registrando os resultados na tabela 2.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



Equação para o cálculo do raio da gota

$$R = \sqrt{\frac{9}{2} \frac{v_0 \eta}{(\rho_1 - \rho_2) g}}$$

Onde.

R = raio da gotícula, suposta esférica.

ρ_1 = densidade do óleo de silicone.

ρ_2 = densidade do ar à temperatura ambiente

η = coeficiente de viscosidade do ar à temperatura ambiente

g = aceleração da gravidade local.

v = velocidade da gotícula na ausência de campo elétrico.

Equação para o cálculo da carga da gota

$$Q = \frac{6\pi\eta R d(v_2 + v_1)}{2U}$$

Valores para as constantes

$$\rho_1 = 1,03 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$$

$$\rho_2 = 1,29 \text{ kg/m}^3$$

$$\eta = 1,82 \times 10^{-5} \text{ kg(ms)}^{-1}$$

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

$$U = (\text{a ser definida}) \text{ V}$$

Obs. Mínimo de 300V

Onde.

η = coeficiente de viscosidade do ar à temperatura ambiente

v_1 = velocidade de descida da gotícula

v_2 = velocidade de subida da gotícula.

Q = carga elétrica da gotícula.

U = tensão entre as placas do capacitor.

d = distância entre as placas do capacitor

- III. Organize os valores das cargas das gotículas em ordem crescente, ou seja, do menor para o maior. tome o menor valor de carga estimado e divida todos os valores por esse menor valor, encontrando assim um fator multiplicador n' em relação à menor carga. Construa um gráfico de Q (carga das gotículas) x n' (fator multiplicador); Use um editor de planilhas ou software apropriado para edição de gráficos.
- IV. Feito isso, observe no gráfico como as cargas se se distribuem. Procure organizar os grupos das cargas que parecem estar próximo de um valor central, anotando na tabela 3 os valores correspondentes a cada grupo, em seguida determine o valor médio da carga de cada grupo.
- V. Calcule a diferença entre as médias das cargas de cada grupo. Por fim determine a média entre os valores das diferenças entre as cargas médias de cada grupo. Compare a média final com o valor aceito para a carga elementar.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



Questões de análise.

- a) O que indica o gráfico de $Q \times n'$?
- b) Tomando o valor aceito pela literatura para a carga elementar, divida todos o valores das cargas encontradas, compare os resultados com os obtidos no item VI, a que conclusão é possível chegar?

Tabelas para Registro dos dados.

Tabela 1 - Registro dos valores dos tempos de subida e descida para cada gotícula.

Gota	Tempo	t1	t2	t3	t4	t5	t(médio)
1	ts						
	td						
2	ts						
	td						
3	ts						
	td						
4	ts						
	td						
5	ts						
	td						

Tabela 2 - Tabela para registro e cálculo das velocidades do raio médio e da carga da gotícula.

gota	Vs	Vd	Rs	Rd	Rméd.	Q
1						
2						
3						
4						
5						

Tabela 3 - Tabela para registro dos valores das cargas elétricas pertencentes a um mesmo nível; cálculo da média dessas cargas e determinação da diferença entre essas médias.

Grupo	1	2	3	4	5	6
Cargas						
<Q>						



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



$\Delta\langle Q \rangle$ $\langle Q_2 \rangle - \langle Q_1 \rangle$						
--	--	--	--	--	--	--

ANEXO C - Guia para o professor.

Objetivo: Realização do experimento para determinação da carga elétrica elementar

I - Procedimentos para utilização do produto desenvolvido.

1º passo: Baixar o programa para conexão remota.

Para a utilização do produto educacional desenvolvido, o usuário terá que ter instalado em um computador o programa para conexão remota TeamViewer. Este programa pode ser baixado no site: <https://www.teamviewer.com>. O usuário deverá ir até a seção downloads e baixar o instalador. Outra alternativa, que não seja a versão instalável é a versão portátil do mesmo programa que também está disponível na mesma seção.

2º passo: inicializando o programa e inserindo dados de conexão.

Obs.: Para utilização do produto desenvolvido, entre em contato com o laboratório de ensino de física da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, local onde se encontra o produto (através do e-mail: laboratoriensinofisica@fis.ufal.br) identificando-se e solicitando agendamento para a realização do experimento de Millikan remoto, informando dia e hora que pretende realizar o experimento para que possamos lhe enviar os dados de conexão. Esta solicitação deverá ser feita por ofício e endereçada A coordenadora dos laboratórios de ensino professora Maria Tereza de Araújo.

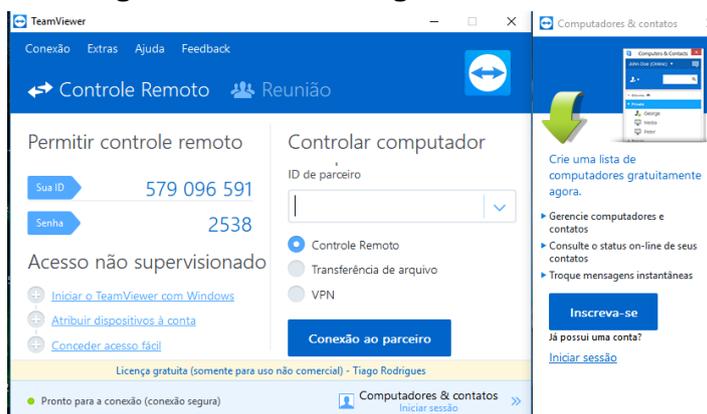
Após baixar o programa e instalar, caso use a versão instalável ou, baixado a versão portátil, inicialize o programa. Ao iniciar surgirá uma tela, como da figura a baixo, com os campos “**Permitir controle remoto**” onde são informados os dados de ID (identificação) e Senha. Essas informações são necessárias caso o usuário deseje permitir que outra pessoa se conecte à sua máquina, sendo que para isso o usuário deverá informar a outra pessoa esses dados.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



Figura 23 - Tela de Login do TeamViewer.



Fonte: O autor, 2017.

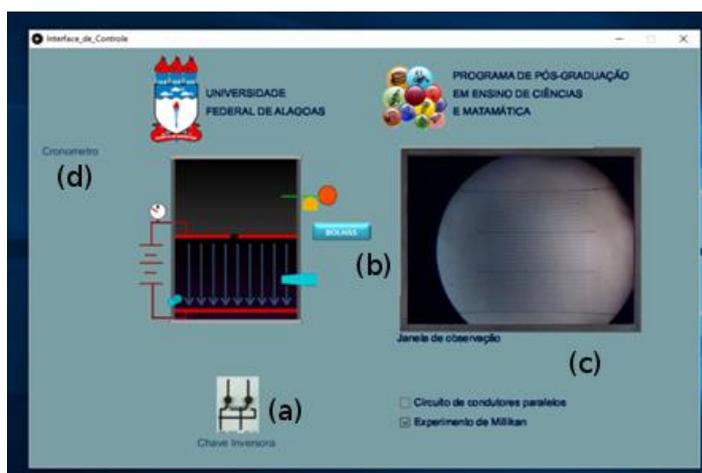
Na mesma telas, existe outro campo “Controlar computador” onde deverá ser inserido o numero de identificação do computador a qual se deseja comunicar. Uma vez inserido o numero de identificação, clica-se em “**Conexão ao parceiro**” onde imediatamente surgirá uma nova janela pedindo para que seja inserida a senha emitida pelo programa instalado no computador que se deseja conectar. Inserida a senha o programa automaticamente realizará a conexão.

Depois de haver entrado em contato com o laboratório onde se encontra o sistema desenvolvido e o aparato experimental e atendidas as condições de uso, ou seja, disponibilidade de uso para o dia e hora solicitados, será enviado para o e-mail do solicitante o número de identificação e senha do computador servidor.

3º passo. Conhecendo a interface de Usuário para a realização do experimento.

Realizada a conexão entre os computadores, o usuário se defrontará com o ambiente de trabalho do computador remoto e já encontrará em execução a interface de controle. Como ilustrado na imagem a baixo.

Figura 24 - Imagem ilustrativa da interface de Usuário.



Fonte: O Autor, 2017.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



Nesta interface poderá se identificado os seguintes itens:

- (c) Janela de observação – nesta janela será mostrando a imagem da câmera utilizada para visualizar o andamento do experimento.
- (a) Botão Chave inversora - pressionando esse botão será possível inverter a polaridade entre as placas que formam a câmara capacitiva do aparato de Millikan.
- (b) Botão Bolhas – pressionando esse botão ativa-se o soprador que injetará ar no bulbo pulverizador de óleo do aparato de Millikan.
- Imagem ilustrativa do aparato de Millikan com animações dinâmicas, representando as modificações ocorridas no aparato real em função da ativação dos botões “Chave inversora” e “bolhas”.
- (d) cronometro para registro dos tempos a serem medidos.

4º Passo: Realizando o experimento.

I - Inicialmente pressione o botão “bolhas” para que o Ar seja injetado no bulbo pulverizador de óleo até o surgimento das primeiras gotículas, que poderão ser visualizadas através da janela de observação.

Havendo gotículas de óleo visíveis, observe o movimento (para cima ou para baixo) das gotículas, em seguida pressione e solte o botão “Chave Inversora” e observe se alguma(as) gotícula(a)s inverte seu sentido de movimento.

Obs. O item a seguir poderá ser realizado com o auxílio de um cronometro manual. Existe um cronometro na própria interface que auxiliará na medida do tempo necessário para uma gotícula realizar um movimento de subida e descida entre duas marcas consecutivas da escala observável. Este cronômetro é ativado a cada “click” efetuado sobre a chave inversora..

II – Uma vez identificada a resposta das gotículas à inversão do campo elétrico entre as placas do capacitor, escolha um bolha que apresente um movimento mais ou menos uniforme e cronometre o tempo que esta gotícula leva para mover-se (subida e descida) entre duas marcas consecutivas da escala observável.

III – Tente coletar cerca de 10 pares de tempos (subida e descida) para 20 gotículas diferentes e registre-os numa tabela. Determine o valor médio dos tempos para cada gotícula e em seguida use esses valores para determinar a velocidade de deslocamento da gotícula para a subida e descida considerando que a escala observável contém 30 divisões totalizando 0,89mm.



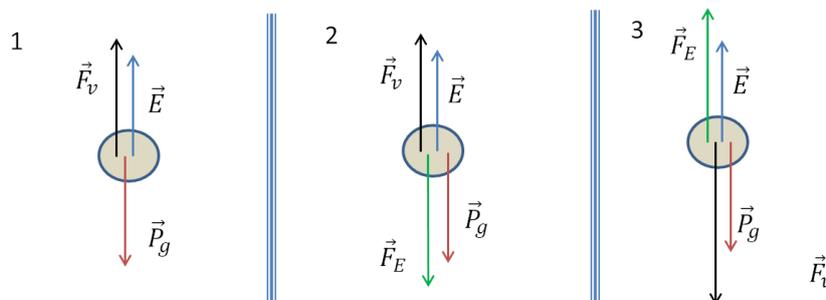
Teoria e equações.

A essência do experimento é aplicar um campo elétrico entre duas placas paralelas, criando assim uma região de campo elétrico uniforme, e introduzir uma gota de óleo carregada eletricamente nessa região em seguida analisar seu comportamento à luz da resultante das forças que agem sobre a gota.

Ao realizar a análise percebe-se que quatro forças agem sobre a gota em queda no interior da câmara. A força peso (\vec{F}_g), a força de viscosidade (\vec{F}_v), o empuxo (\vec{E}) e a força elétrica (\vec{F}_E).

Inicialmente, na ausência de um campo elétrico, a gota em regime de queda livre está submetida apenas a ação da força gravitacional (seu peso), do empuxo e da força viscosa devido ao fluido em que está inserida, como indica a figura x.a.

Figura 25 - esquemas das forças atuantes sobre uma gotícula de óleo no interior do aparato de Millikan. (1) forças na ausência de campo elétrico (2) forças com existência de campo elétrico orientado da placa inferior para a superior; (3) forças com existência de campo elétrico orientado da placa superior para inferior.



Fonte: O Autor, 2018.

Sendo a força viscosa dada pela expressão.

$$\vec{F}_v = 6\pi\rho Rv \quad (\text{lei de Stokes}) \quad (1)$$

A força peso de um corpo

$$\vec{F}_g = mg \quad (2)$$

E o empuxo

$$\vec{E} = n_{ar}Vg$$

Assim, numa situação de equilíbrio.

$$\vec{F}_v + \vec{E} = \vec{F}_g$$

$$6\pi\rho Rv + n_{ar}Vg = mg \quad (3)$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



Na expressão 3, a massa e o volume da gota podem ser inferidos a partir da definição de densidade e do volume de uma esfera. Neste caso a expressão 3 ficará:

$$6\pi\rho Rv + n_{ar} \frac{4}{3}\pi R^3 g = \frac{4}{3}\pi n_{\acute{o}leo} R^3 g \quad (3.1)$$

$$6\pi\rho Rv = \frac{4}{3}\pi n_{\acute{o}leo} R^3 g - n_{ar} \frac{4}{3}\pi R^3 g \quad (3.2)$$

$$6\pi\rho Rv = \frac{4}{3}\pi R^3 g * (n_{\acute{o}leo} - n_{ar}) \quad (4)$$

Nessa expressão conhecemos ou podemos determinar quase todos os elementos a menos de R que é o raio da gota. Logo, resolvendo a expressão para R teremos:

$$R = \sqrt{\frac{9}{2} \frac{\rho v}{g*(n_{\acute{o}leo} - n_{ar})}} \quad (5)$$

em que:

ρ = índice de viscosidade do meio (o ar);

n_{ar} = é a densidade do ar à temperatura ambiente (25°C);

$n_{\acute{o}leo}$ = é a densidade do óleo à temperatura ambiente (25°C).

g = é aceleração da gravidade local (assumida como 9,81 m/s²).

Determinação da carga

Havendo entre as placas um campo eletrostático a gotícula passa a sofrer a influência de uma força elétrica que tende a equilibrar a ação da força peso. Assim, devemos analisar o comportamento das forças em duas situações: I – quando a orientação do campo elétrico está orientada na vertical e da placa inferior para a superior (fig. 25.2); II – quando a orientação do campo elétrico está orientado na vertical de da placa superior para a inferior (fig. 54.3).

I - Caso: orientação do campo elétrico orientado da placa inferior para a superior. nesta situação, e considerando que a carga presente na gota seja negativa, a mesma tenderá a descrever um movimento descendente. Logo, no regime de equilíbrio das forças teremos:

$$\vec{F}_v - \vec{F}_E = \vec{F}_g - \vec{E} \quad (6)$$

Sendo a força elétrica dada pelo produto da carga pela intensidade do campo elétrico ($\vec{F}_E = q * \vec{E}$) teremos:

$$6\pi\rho Rv - q * E = \frac{4}{3}\pi n_{\acute{o}leo} R^3 g - n_{ar} \frac{4}{3}\pi R^3 g$$



UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENSINO
DE CIÊNCIAS E MATEMÁTICA



$$6\pi\rho Rv - q * E = \frac{4}{3}\pi R^3 g(n_{\acute{o}leo} - n_{ar})$$

$$6\pi\rho Rv = \frac{4}{3}\pi R^3 g(n_{\acute{o}leo} - n_{ar}) + q * E \quad (8)$$

Resolvendo a equação (8) para v teremos:

$$v_d = \frac{1}{6\pi\rho R} \left[\frac{4}{3}\pi R^3 g(n_{\acute{o}leo} - n_{ar}) + q * E \right] \quad (9)$$

A expressão (9) nos possibilita determinar a velocidade da gota na descida em função da força elétrica. Por dedução semelhante encontramos a expressão para o cálculo da velocidade da gota para o segundo caso, quando a orientação do campo elétrico está orientado da placa superior para a inferior, obtendo:

$$v_s = \frac{1}{6\pi\rho R} \left[\frac{4}{3}\pi R^3 g(n_{\acute{o}leo} - n_{ar}) - q * E \right] \quad (10)$$

Somando as expressões (9) e (10) e considerando que o campo elétrico pode ser inferido a través da razão entre o potencial aplicado às placas e sua distancia de separação ($\vec{E} = \frac{U}{d}$) deduzimos uma expressão para o cálculo da carga elétrica presente na gota. Assim, a expressão final será:

$$q = \frac{6\pi n_{ar} R d (v_d + v_s)}{2U} \quad (11)$$

Logo, para a determinação da carga elétrica fundamental deve-se inicialmente encontrar os valores das velocidades que uma gota desenvolve no interior da câmara para que em seguida se determine seu raio e posteriormente sua carga.

Pode-se ainda deduzir uma expressão final, dependente apenas das velocidades, bastando para isso que se substitua a expressão do raio (5) na expressão da carga (11). Ao fazer isso e após alguma manipulação algébrica chegaremos à:

$$q = \frac{9\pi d (v_d + v_s)}{2U} \sqrt{\frac{n_{ar}^3 (v_d - v_s)}{g(n_{\acute{o}leo} - n_{ar})}} \quad (12)$$