

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

RODRIGO SASSE

**FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA PROPOSTA DE
OFICINA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

PALOTINA

2019

RODRIGO SASSE

**FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA PROPOSTA DE
OFICINA PARA O ENSINO DE FÍSICA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Licenciatura em Ciências Exatas, Setor Palotina, da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial para a obtenção do título de Graduação em Licenciatura em Ciências Exatas - Física

Orientador: Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo

Coorientador: Prof. Dr. André Assmann

PALOTINA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Rodrigo Sasse

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA PROPOSTA DE OFICINA PARA O ENSINO DE FÍSICA

Monografia apresentada como requisito parcial à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, Licenciatura em Ciências Exatas, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:



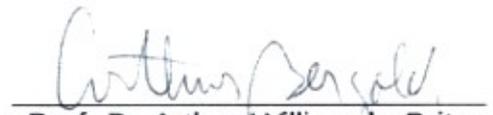
Prof Dr Carlos Henrique Coimbra-Araújo

Orientador (a)



Prof. Dr Valdir Rosa

Membro da banca escrita



Prof. Dr Arthur Willian de Brito

Bergold

Membro da banca escrita

Palotina, 26 de Novembro de 2019.

TERMO DE APROVAÇÃO

Rodrigo Sasse

FÍSICA MODERNA E CONTEMPORÂNEA: UMA PROPOSTA DE OFICINA PARA O ENSINO DE FÍSICA

Monografia apresentada como requisito parcial à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, Licenciatura em Ciências Exatas, Setor Palotina, Universidade Federal do Paraná, pela seguinte banca examinadora:

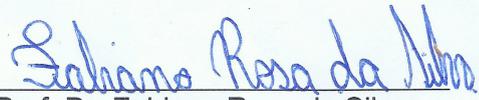

Prof Dr Carlos Henrique Coimbra-Araújo

Orientador (a)


Prof. Dr. Denis Rogério Sanches

Alves

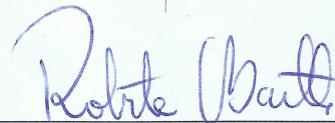
Membro da Banca oral


Prof. Dr. Fabiano Rosa da Silva

Membro da Banca oral


Profª Drª Denise da Silva Dalcol

Membro da Banca oral


Profª Drª Roberta Chiesa

Bartelmebs

Membro da Banca oral

Palotina, 16 de Novembro de 2019.

A Deus e à minha Família!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela vida maravilhosa que tenho, pelas bênçãos e pelas oportunidades.

Agradeço aos meus Pais, Renildo Sasse e Neuza Petri Sasse, pelo amor, empenho, dedicação em me manter nessa trajetória até aqui. Sem vocês este trabalho não seria possível.

Agradeço aos meu Orientadores, Prof. Dr. Carlos Henrique Coimbra Araújo e Prof. Dr. André Assmann por acreditarem neste trabalho, pelos ensinamentos, paciência e dedicação. Vocês são fontes de inspiração como pessoas e profissionais.

Ao Prof. Me. Arthur William de Brito Bergold pelas sugestões, conselhos e contribuições para este trabalho.

Ao Prof. Dr. Luciano Caetano de Oliveira, pela enorme contribuição na montagem do experimento da Câmara de Nuvens.

À Prof. Alda Fontoura Rossetto e Prof. Marcia Jacobi pelo auxílio nas atividades realizadas.

A minha companheira e namorada Louize Andressa Eggers Schneider, pelo amor, carinho e incentivos nessa jornada. Obrigado pelos momentos maravilhosos que dividimos juntos. Agradeço por estar sempre ao meu lado e por ser essa pessoa maravilhosa.

Agradeço a todos os Professores que contribuíram de alguma forma em minha formação como pessoa e profissional. Por cada aula, ensinamento, conselho e dedicação. Guardo cada lembrança com muito carinho e me inspiro em cada um.

*“A vida não é fácil para nenhum de nós. Temos
que ter persistência e, acima de tudo,
confiança em nós mesmos.”
(Marie Curie)*

RESUMO

O trabalho apresenta uma proposta de oficina didática que aborda tópicos de Física Moderna e Contemporânea (FMC) voltada para o Ensino Médio (EM). Também são apresentados materiais desenvolvidos para a utilização da Oficina, como o desenvolvimento de uma sequência didática para o experimento da Gota de Óleo de Millikan a partir do conjunto PASCO AP8210A disponível no Laboratório de Física da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina, apresenta também os resultados experimentais obtidos a partir da sequência didática e além disto, a tradução desenvolvida do manual PASCO AP8210A. Além de propor a oficina, a mesma foi aplicada em escolas da região oeste do Paraná, da rede pública de ensino, visando a pesquisa sobre a possibilidade da inserção da FMC no EM. Para isso, foram desenvolvidos modelos didáticos sobre as Partículas Elementares do Modelo Padrão, caracterizando as propriedades de cada uma. A oficina possui uma carga horária total de 5 horas. Sobre a abordagem do tema proposto as concepções alternativas dos alunos foram determinantes para o processo de aprendizagem. Para isso, foram aplicados questionários no início e no término da oficina a fim de verificar o avanço do conhecimento adquirido por parte dos participantes durante os encontros realizados. Ao final dos encontros houve a demonstração do experimento da Câmara de Nuvens que permite a visualização da interação entre partículas sub-atômicas e a matéria. Os resultados da oficina didática foram satisfatórios, uma vez que, houve uma melhora no desempenho da maioria dos participantes, na comparação entre o questionário prévio e final.

Palavras-chave: Ensino de Física, Física Moderna e Contemporânea, Partículas Elementares, Oficina Didática.

ABSTRACT

This work presents a proposal didactic workshop that deals with topics of Modern and Contemporary Physics (FMC) aimed at High School (EM). Also presented are materials developed for the use of the Workshop, such as the development of a following teaching for the Millikan Oil Drop experiment from the PASCO AP8210A set available at the Physics Laboratory of the Federal University of Paraná - Palotina Sector, also presents the results experimental results obtained from the following teaching and in addition, the developed translation of the PASCO AP8210A manual. In addition to proposing the workshop, it was applied in a school in the western region of Paraná State, aiming the research on the possibility of FMC insertion in EM. For this, didactic models were developed on the Elementary Particles of the Standard Model, characterizing the properties of each. The workshop has a total workload of 5 hours. About the approach of the proposed theme the student's alternative conceptions were determinant for the learning process. For this, questionnaires were applied at the beginning and end of the workshop in order to verify the progress of the knowledge acquired by the participants during the meetings. At the end of the meetings there was a demonstration of the Cloud Chamber experiment that allows the visualization of the interaction between sub-atomic particles and matter. The results of the didactic workshop were satisfactory, since there was an improvement performance of most participants when comparing the questionnaire prior and final.

Keywords: Teaching Physics, Modern and Contemporary Physics, Elementary Particles, Didactic Workshop.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – PARTÍCULAS ELEMENTARES DO MODELO PADRÃO	17
FIGURA 2 – DIAGRAMA DE FORÇAS NO MOVIMENTO DE DESCIDA	24
FIGURA 3 – DIAGRAMA DE FORÇAS NO MOVIMENTO DE ASCENÇÃO	24
FIGURA 4 – MONTAGEM DO EXPERIMENTO DA GOTA DE ÓLEO	26
FIGURA 5 – COMPONENTES DO CONJUNTO PASCO AP-8210A	28
FIGURA 6 – EXPERIMENTO DA CÂMARA DE NUVENS PARA A OFICINA	30
FIGURA 7 – MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A CÂMARA DE NUVENS	32
FIGURA 8 – MONTAGEM DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN PARA A OFICINA	34
FIGURA 9 – MODELO DIDÁTICO DA COLISÃO ENTRE PRÓTONS	35
FIGURA 10 – COMPARAÇÃO ENTRE TEORIA E PRÁTICA EXPERIMENTAL	38
FIGURA 11 – RELAÇÃO ENTRE TEMPOS DE SUBIDA (S) E A CARGA QUANTIZADA	40
FIGURA 12 – PERGUNTA 4 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	42
FIGURA 13 – PERGUNTA 9 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	42
FIGURA 14 – PERGUNTA 14 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	43
FIGURA 15 – PERGUNTA 15 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	43
FIGURA 16 – MODELO DIDÁTICO ELABORADO PELOS PARTICIPANTES - EXEMPLO 1	45
FIGURA 17 – MODELO DIDÁTICO ELABORADO PELOS PARTICIPANTES - EXEMPLO 2	45
FIGURA 18 – PERGUNTA 01 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	56
FIGURA 19 – PERGUNTA 02 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	57
FIGURA 20 – PERGUNTA 03 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	57
FIGURA 21 – PERGUNTA 05 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	58
FIGURA 22 – PERGUNTA 06 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	58
FIGURA 23 – PERGUNTA 07 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	59
FIGURA 24 – PERGUNTA 08 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	59
FIGURA 25 – PERGUNTA 10 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	60
FIGURA 26 – PERGUNTA 11 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	60
FIGURA 27 – PERGUNTA 12 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	61
FIGURA 28 – PERGUNTA 13 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL	61
FIGURA 29 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 01	62
FIGURA 30 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 02	63
FIGURA 31 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 03	64
FIGURA 32 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 04	65

LISTA DE SIGLAS

ATLAS	<i>A Toroidal LHC Apparatus</i>
CERN	Organização Europeia para a Pesquisa Nuclear
d.d.p	Diferença de Potencial
EM	Ensino Médio
FMC	Física Moderna e Contemporânea
LHC	<i>Large Hadron Collider</i>
MP	Modelo Padrão
TA	<i>Telescope Array</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	CONTEXTO E PROBLEMA	11
1.2	OBJETIVOS	13
1.2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
1.3	JUSTIFICATIVA	13
2	REVISÃO DE LITERATURA	15
2.1	HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS	15
2.2	MODELO PADRÃO	16
2.3	PROBLEMAS NO ENSINO	18
2.4	EXPERIMENTO DA GOTA DE ÓLEO	20
2.5	CÂMARA DE NUVENS	20
2.6	OFICINAS	21
3	MATERIAIS E MÉTODOS	22
3.1	MONTAGEM DO EXPERIMENTO	23
3.2	MONTAGEM DA CÂMARA DE NUVENS	30
4	DESENVOLVIMENTO	33
4.1	EXPERIMENTO DA GOTA DE ÓLEO	33
4.2	OFICINA	33
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	37
5.1	RESULTADOS EXPERIMENTAIS	37
5.2	RESULTADOS DA OFICINA	41
5.3	TRADUÇÃO DO MANUAL PASCO AP-8210A	45
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
	REFERÊNCIAS	48
A	APÊNDICE 01 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO	51
B	APÊNDICE 02 - QUESTIONÁRIO FINAL	53
C	APÊNDICE 03 - RESPOSTAS DOS PARTICIPANTES NAS DE- MAIS QUESTÕES EM CADA QUESTIONÁRIO	56
D	APÊNDICE 04 - MANUAL DE INSTRUÇÃO	66

1 INTRODUÇÃO

Historicamente, o ensino de Física para o Ensino Médio (EM) é caracterizada por conteúdos fixos e diretamente associados à Física Clássica, como a Mecânica, Física Térmica, Ondas, Óptica e Eletromagnetismo (TERRAZZAN, 1992). Essa divisão em termos de temas do conhecimento científico, mais em especial da Física como Ciência e, principalmente, do Ensino de Física como uma construção de conhecimentos conectados entre si vai em uma direção contrária ao que prega os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCN) BRASIL (2000), a Física como componente curricular do EM deve “permitir ao indivíduo a interpretação dos fatos, fenômenos e processos naturais”.

Dentre as habilidades a serem desenvolvidas na Física, o PCN destaca a representação e comunicação, como conhecer fontes de informação verdadeiramente científicas, construir e investigar situações-problema e reconhecer a Física enquanto construção científica e humana (BRASIL, 2000).

Nesse contexto, existe uma defasagem muito grande do Ensino de Física, já que os avanços tecnológicos que vivenciamos atualmente partem de conceitos da Física Moderna e Contemporânea (FMC). Assim, nos últimos anos muitos autores vêm explorando esse assunto e buscando encontrar novas possibilidades para a aprendizagem da Física como componente curricular do EM, principalmente fazendo uso de tópicos da FMC (ABDALLA, 2005; MOREIRA, 2004; OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007; OSTERMANN, 2001; SOUZA et al., 2018; TERRAZZAN, 1992).

Propomos uma Oficina Didática sobre um tema que geralmente não aparece nos Livros Didáticos, o Modelo Padrão das Partículas Elementares (MP) como uma forma de inserção da FMC no EM. E para isso modelos didáticos e experimentos foram utilizados durante a proposta, em específico o conjunto PASCO AP-8210A que, de modo didático, reproduz o experimento da Gota de Óleo de Millikan. Para a utilização desse equipamento se faz necessário compreendê-lo de um modo bastante amplo. Para isso, foram realizadas várias atividades experimentais durante o primeiro semestre de 2019.

1.1 CONTEXTO E PROBLEMA

A FMC apresenta descobertas realizadas desde o final do século XIX até o século XXI, como consequência, proporcionaram ao longo da história, diversos avanços tecnológicos e, dessa maneira, é a parte da Física que mais está presente no cotidiano das pessoas sem que elas se dêem conta de que há conhecimentos proporcionados pela FMC nos aparelhos como smartphones, tablets, micro-ondas e computadores, como também tópicos dessa área são frequentemente divulgados nos mais variados meios de divulgação (GOMES, 2017).

Assim, é comum evidenciar no âmbito escolar situações em que os alunos trazem para o contexto de sala de aula discussões sobre tópicos de FMC que viram ou ouviram em revistas, programas televisivos ou pela internet. Nesse contexto, é mais comum ainda despertar

o interesse desses estudantes em buscar conhecer e entender os conhecimentos científicos relacionados a novas descobertas científicas presentes no cotidiano (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

O que ocorre na realidade do EM vigente é que existe uma enorme lacuna entre o que o aluno observa e o que ele aprende na escola. Portanto, o que se defende, é a inserção de tópicos de FMC no currículo do ensino de Física, para torná-lo mais abrangente e possibilitar uma aprendizagem significativa e que faça sentido para o estudante (BONETTI, 2015) .

Entende-se que é necessário inovar o currículo de Física no Ensino Médio. Autores como JUNIOR (2014), em concordância com BROCKINGTON e PIETROCOLA (2005), BORGES (2005), PEREIRA e OSTERMANN (2009), apontam que é necessário haver essa mudança para diminuir a defasagem do ensino de Física das últimas décadas. Entretanto, este não é um caminho fácil, já que os desafios vão muito além da complexidade imposta pelos temas abrangentes de FMC (JUNIOR, 2014).

Outros fatores relevantes também atrapalham a abordagem de tópicos sobre FMC, como a escassez de livros didáticos que abordam efetivamente esse tipo de conteúdo. Na maioria das vezes o que se tem são apenas apresentações destes temas, de forma pouco aprofundada e descontextualizada da realidade. Porém, percebe-se uma tendência de crescimento de trabalhos que possam contribuir nesse sentido, em revistas direcionadas a professores, como exemplo a Revista Física na Escola, e destacando o trabalho de OSTERMANN (2001) “Um pôster para ensinar Física de Partículas na escola” e o texto didático elaborado por ABDALLA (2005) denominado “O Discreto Charme das Partículas elementares”.

Nesse sentido, busca-se nos últimos anos desenvolver materiais didáticos que trabalhem tópicos de FMC de maneiras que não exijam dos alunos conhecimentos prévios aprofundados sobre o tema que, em muitos casos, tanto os discentes, como os docentes de EM não possuem para se ter uma aprendizagem significativa (OSTERMANN; MOREIRA, 2001) . E que consigam elucidar questões sobre como trabalhar e como fazer o ensino de FMC, já que a literatura mostra que a maior dificuldade em trabalhar essa temática está relacionada em como fazer e como abordar em um currículo de Física já bastante carregado e que ainda aborde os tópicos de FMC de maneiras concretas e contextualizadas, valorizando a construção efetiva do conhecimento, evitando que esta inserção seja apenas superficial de tópicos isolados da Física no EM, tornando-a a componente curricular ainda mais carregada (OLIVEIRA; VIANNA; GERBASSI, 2007).

BONETTI (2015) apresenta argumentos sobre a perspectiva de não trabalhar tópicos de FMC pois sua aplicação poderia ser difícil e abstrata. No entanto, tópicos de Física Clássica também apresentam dificuldades e um caráter abstrato e em contrapartida, para certas condições pode ser que ensinar conteúdos novos se torna mais animador para docentes e discentes, potencializando o planejamento da metodologia aplicada e dos materiais utilizados no processo de aprendizagem.

Dessa maneira, não se deve medir esforços para proporcionar meios que possibilitem

um ensino de FMC abrangente e significativo para o EM e que quebre estereótipos relacionados a esta área científica e de aprendizagem cada vez mais pertinente em nossa sociedade em um enfoque de Ciência, Tecnologia e Sociedade.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral é desenvolver uma sequência didática por meio da elaboração de uma oficina estruturada que possibilite uma aprendizagem significativa sobre tópicos de FMC, em especial o Modelo Padrão de Partículas Elementares que inclua a confecção de materiais didáticos e guias de orientação para os professores e alunos, permitindo uma visão contextualizada e abrangente sobre o tema.

1.2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver uma metodologia para o Experimento da Gota de Óleo de Millikan;
- Traduzir o Manual do KIT Pasco AP-8210A;
- Elaborar a Oficina;
- Construir o Experimento da Câmara de Nuvens;
- Aplicar a Oficina no âmbito escolar.

1.3 JUSTIFICATIVA

A Física como ciência é um dos mais belos exemplos da construção do pensamento humano e essa perspectiva se intensifica no último século até os dias atuais, visto que cada vez mais os conhecimentos físicos são divulgados na sociedade, tornando-os uma excelente ferramenta para se ter uma visão de mundo concreta (OSTERMANN, 2001).

Então, é extremamente importante dar início à inserção de tópicos de FMC no currículo do EM para possibilitar uma formação científica concreta e abrangente sobre a Física. A aprendizagem desses temas deve ser facilitada por meios de atividades práticas, principalmente pelo fato de que para muitos, o ensino escolar neste nível de aprendizado é a última oportunidade ou ao menos a última vez que terão contato com a Física de maneira didática. Como discorre (TERRAZZAN, 1992, p. 2), “para uma grande quantidade de alunos, a Física Escolar do EM será o único contato, na sua escolarização formal, com a ciência Física”.

Nesse sentido, a Oficina e o experimento da Gota de Óleo vêm como uma forma de proporcionar a contextualização e a possibilidade de apresentar um conhecimento abrangente sobre tópicos de FMC para alunos do EM. O experimento demonstra bem que partículas elementares, neste caso o elétron, possui uma característica própria, a carga elementar da eletricidade, medida experimentalmente e assim, de maneira simples é possível começar a introduzir ideias centrais sobre esse tema, como a quantização da matéria, que partículas elementares possuem características desde as mais conhecidas como a massa, carga, *spin* e outras não tão populares mas extremamente pertinentes.

E dessa maneira, possibilita-se despertar a curiosidade científica dos alunos e motiva-os a aprender Física, a partir da inserção dos tópicos de FMC, algo fundamental para a formação do estudante (RODRIGUES; BEZERRA; SOUZA, 2018).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRIA DA FÍSICA DE PARTÍCULAS

A construção do conhecimento sobre a Física de Partículas nos remete aos primórdios da antiguidade, quando Demócrito (585 a.C) elaborou o conceito de átomo, cujo significado era algo indivisível, referindo-se a entes muito pequenos para serem observados, que estavam em movimento contínuo e eram impossíveis de serem divididos. E de certa forma, é neste período histórico que surge a busca pelo o que compõe a matéria intrinsicamente. Esse conceito de átomo iria então se perpetuar até os séculos seguintes, passando por Isaac Newton (1642-1727) até meados do século XIX, onde neste período os átomos eram considerados ainda elementos sem estrutura e indivisíveis (OSTERMANN, 2001).

Apenas a partir do final do séc. XIX e início do séc. XX é que as ideias em torno dos átomos começaram a mudar. Thomson, com o experimento dos raios catódicos, em 1897, obteve a primeira pista sobre a estrutura atômica, em que os elétrons, descobertos por ele, deveriam fazer parte do átomo. Mais tarde Rutherford, com o experimento de Geiger-Marsden (1911), emitindo partículas α (alfa) em uma fina lâmina de ouro, percebeu que os átomos eram formados possivelmente por um núcleo denso e massivo. Rutherford propõe então uma estrutura atômica similar ao sistema solar, onde o núcleo era o Sol e os elétrons eram os planetas rodeando a estrela. Contudo, já com as Leis da Física conhecidas da época, uma estrutura como proposta não deveria funcionar, visto que cargas elétricas como o elétron deveria colapsar em microssegundos, colidindo contra o núcleo positivo (OSTERMANN, 2001).

Nesse período, a Física Clássica começou a apresentar diversas dúvidas para solucionar problemas microscópicos. O problema da estrutura atômica seria solucionado apenas a partir do surgimento da Mecânica Quântica e das ideias sobre emissão de luz por meio dos fótons (quanta de energia) proposto por Plank em 1900. Bohr propôs que o momento angular dos elétrons são quantizados, ou seja, devem seguir movimentos circulares em torno do núcleo em certos valores de energia definidos. Assim, os elétrons não poderiam realizar um movimento de espiral em direção ao núcleo, por estarem restritos a determinados níveis de energia, as camadas eletrônicas. Desse modo, o elétron só poderia "saltar" entre as camadas. O salto quântico dos elétrons é dado a partir do ganho de energia do elétron, ou pela perda por meio da emissão dos fótons. O avanço dessas pesquisas resulta no surgimento da Teoria Quântica Moderna e assim surgem novas perguntas para os Físicos: como é possível que um núcleo carregado positivamente não desagregue sendo que a pequenas distâncias a repulsão de cargas iguais, proposta por Coulomb seria enorme? A resposta para essa questão foi solucionada experimentalmente por Chadwick em 1932, com a sua proposta da existência de uma partícula sem carga, o nêutron que também deve compor o núcleo, juntamente com a existência de uma nova força, a nuclear forte, suficiente para vencer a repulsão coulombiana, fazendo com que o núcleo não exploda, mantendo-o estável (OSTERMANN, 2001).

Os estudos a respeito dos átomos avançaram à medida que buscava-se descobrir qual a natureza das forças entre os até então prótons e nêutrons. Assim, desenvolveu-se a técnica de acelerar as partículas, que aumentam a sua energia cinética que por sua vez colidem com o núcleo, fragmentando-o. O resultado disso foi a descoberta de inúmeras novas partículas sub-atômicas e uma nova tecnologia, a dos aceleradores de partículas (OSTERMANN, 2001).

A descoberta dos Raios Cósmicos, feita pelo austríaco Victor Hess (1912), também impulsionou a descoberta de inúmeras novas partículas sub-atômicas. Carl Anderson em 1932, descobriu o pósitron ao estudar a trajetória de raios cósmicos em uma câmara de Wilson e logo em seguida, em 1937, Anderson, Neddermeyer descobriram o múon. A partir deste tipo de pesquisa, o físico brasileiro Cesar Lattes, juntamente com G. Occhialini e C. F. Powell, contribuiu na descoberta do pión em 1947 analisando emulsões expostas em altas montanhas (ANJOS, 2014).

Ambas as técnicas de aceleração e detecção de partículas foram desenvolvidas ao longo dos anos e hoje são os principais meios de pesquisa sobre partículas elementares que existem. Um exemplo é o acelerador *Large Hadron Collider* - LHC, localizado na fronteira entre a Suíça e França, ocupando uma área de circunferência próxima a 20 km de diâmetro. Por outro lado, existem inúmeros Observatórios de raios cósmicos, como o Observatório Pierre Auger, localizado na Argentina e o *Telescope Array* - TA, localizado nos EUA. Ambos os métodos, aceleração de partículas e observação de raios cósmicos envolvem altíssimas energias, seja para acelerar partículas a velocidades próximas da luz ou através da detecção de partículas vindas do universo altamente energéticas. O resultado disso tudo é a possibilidade de visualizar partículas sub-atômicas (ANJOS, 2014).

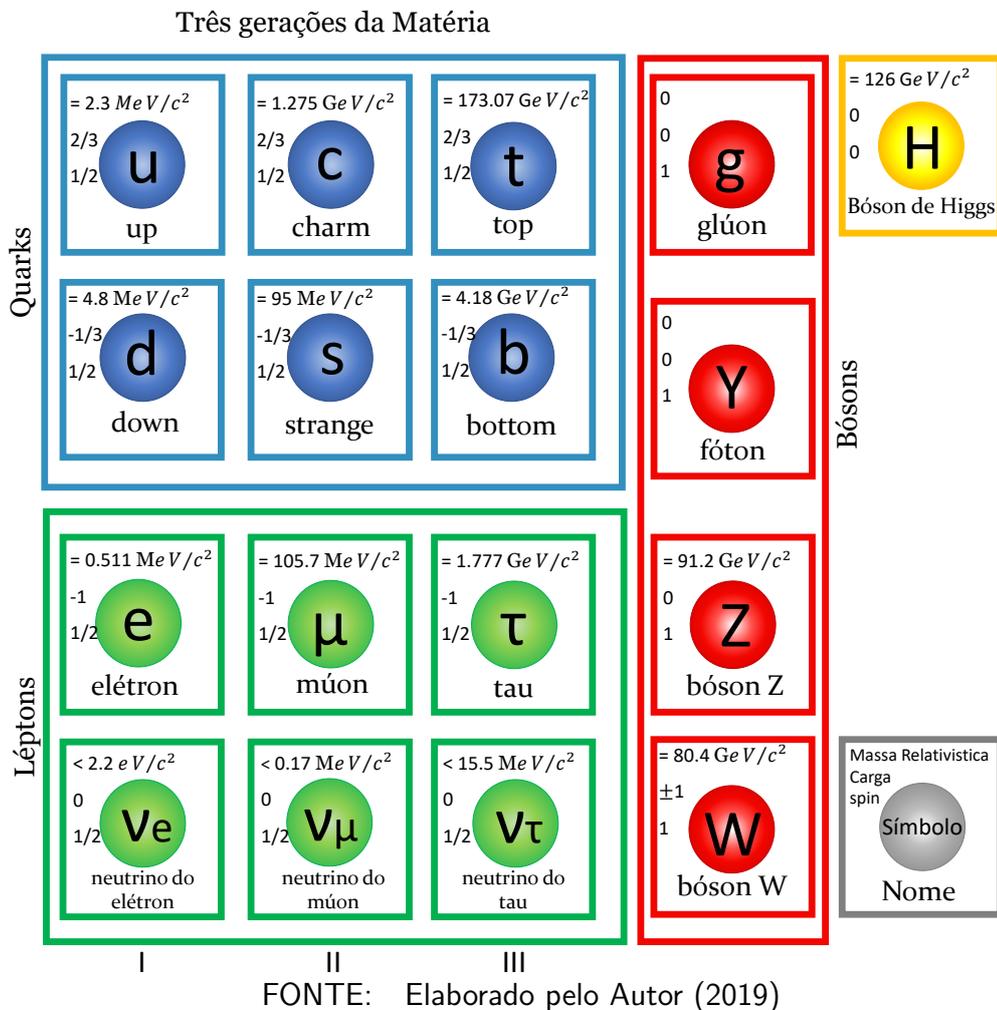
Entender os processos físicos destes fenômenos é um dos maiores desafios da Física contemporânea nos últimos anos. Visto que, no decorrer da história, descobriu-se também a existência da antimatéria, ou seja, para cada partícula existe uma antipartícula, que possui mesma massa e *spin* porém com carga elétrica oposta. O pósitron, descoberto por C. Anderson foi a primeira antipartícula descoberta, que é antimatéria do elétron, um antielétron. Antiprótons foram descobertos na década de 50 e no início deste século XXI criou-se pela primeira vez o antiátomo, composto por pares de antiprótons e antielétrons formando a antimateria do Hidrogênio (MOREIRA, 2009).

2.2 MODELO PADRÃO

O Modelo Padrão (MP) apesar de receber o nome de modelo, se trata de uma sofisticada teoria da Física que busca identificar as partículas elementares que compõem a matéria como um todo e busca descrever como são dadas as interações na natureza, exceto do efeito da gravidade. As partículas descobertas a partir do desenvolvimento científico foram tantas, que se fez necessário organizá-las de uma melhor maneira para caracterizar cada partícula elementar, visto que descobriu-se, que além de massa e carga, as partículas possuíam outras características designadas, como cor, charme, spin e estranheza (MOREIRA, 2017).

Assim, existe atualmente uma tabela que busca classificar todas as características das partículas elementares encontradas até hoje, bem como classifica-lás em famílias, partículas mediadoras e as relações com as forças elementares da natureza, como mostra a Figura 1.

FIGURA 1 – PARTÍCULAS ELEMENTARES DO MODELO PADRÃO



Mas o que são partículas elementares afinal? Na Física, são definidas como tais, aquelas partículas que não possuem estrutura interna. O elétron, por exemplo, foi a primeira partícula elementar encontrada. Diferentemente dos prótons que são formados por *quarks*. Dessa maneira, é pertinente caracterizar cada partícula elementar estruturada pelo MP. Nesta teoria, as partículas da matéria podem ser classificadas como *quarks* e *léptons* enquanto que as partículas correspondentes as forças da natureza são classificadas como *bósons*. As partículas que não são elementares, ou seja, formadas por *léptons* e *quarks* são chamadas de *hádrons* e classificadas em *mésons* e *bárions*, a diferença é dada a partir do número de *quarks* que os compõe (MOREIRA, 2017).

Existem seis *quarks*, destacados em azul na Figura 1, sendo eles denominados como (*quark up* (**u**), *quark down* (**d**), *quark charm* (**c**), *quark strange* (**s**), *quark top* (**t**) e *quark*

bottom (t)). Contudo, os *quarks* possuem uma característica especial denominada de cor sendo expressa por (vermelho, verde e azul). Essa característica não está relacionada com as respectivas cores efetivamente, se trata apenas de uma propriedade específica, assim como a carga elétrica, o *spin* ou a massa que todas as partículas da natureza possuem, como por exemplo no próton. Neste caso, se tratando dos *quarks*, tais características apenas levam o nome das respectivas cores para fins de ilustração didática, se baseando no sistema de cores RGB. A propriedade cor pode ser dita como carga cor, por exemplo. Assim sendo, existem 18 *quarks* e 18 *antiquarks*. O próton e o nêutron são os *hádrons* mais familiares e a estrutura interna do próton é dada pela estrutura **uud**, ou seja, composta por dois *quarks (u)* e um *quark (d)*. A maioria das partículas que conhecemos são *hádrons* e portanto essa foi uma maneira encontrada de se caracterizar facilmente cada partícula de uma maneira organizada e compreensiva (MOREIRA, 2009).

Os *bósons*, destacados em vermelho e amarelo na Figura 1, são os agentes das forças elementares da natureza. O *bóson W* e *Bóson Z* estão relacionados com a força nuclear forte, tendo sua ação restrita a ordens de grandeza subatômicas, assim modificando as partículas. O fóton é o *bóson* mensageiro da força eletromagnética. Por esse motivo é sensível à carga elétrica, porém, não possui nenhum tipo de carga ou massa, diferente dos demais *bósons*. O *glúon* é responsável pelas interações mediadoras entre os *quarks* que os mantém unidos pela força nuclear forte SIQUEIRA (2006). O *Bóson de Higgs* foi detectado apenas em 2012, a partir do experimento ATLAS do CERN na Suíça. Ele é uma partícula prevista desde 1964 por Peter Higgs (1929-). O *Bóson de Higgs* explica a existência de uma das grandezas mais importantes da Física, a massa e também explica a inércia como discorre SOUZA et al. (2018):

O campo de Higgs permeia todo o espaço comportando-se como um fluido de viscosidade não nula, as partículas que interagem com esse campo sofrem uma resistência natural ao seu movimento, prefigurando aquilo que entendemos ser a massa(SOUZA et al., 2018, p. 4).

Os *léptons* destacados em verde na Figura 1, são agrupados em três famílias, como na tabela periódica, sendo que na primeira família está o *lépton* mais conhecido, o elétron e o neutrino do elétron. Na segunda família está o *múon* e o neutrino do *múon* e na terceira família, está o taú e o neutrino do tau. Os neutrinos participam apenas de interações de partículas subatômicas que seu *léptons* também participam. As principais características dos *léptons* estão relacionadas à condição que essas partículas elementares não sentem ação de forças nucleares, diferentemente dos *quarks* por exemplo, neste caso, os *léptons* sentem apenas ação da força eletromagnética, que é intermediada pelos fótons (GOMES, 2017).

2.3 PROBLEMAS NO ENSINO

Por muitas vezes, o ensino de Física está diretamente relacionado à utilização de estratégias de ensino voltadas a aulas expositivas e resolução de exercícios, priorizando a memorização de fórmulas matemáticas. O resultado disso é uma disciplina que foge da

realidade do aluno e se torna extremamente descontextualizada, e por conta dos métodos utilizados, os alunos são levados a resolver inúmeras vezes questões similares às realizadas em sala pelo professor, sem que se tenha um incentivo ao desenvolvimento de habilidades concretas. Esse cenário demonstra que ainda existem muitas dificuldades a serem superadas para ser possível oferecer um ensino de qualidade (SOUZA et al., 2018).

Nesse sentido, a inserção da FMC depende e muito da construção de um conhecimento bem fundamentado e que faça relação com o cotidiano do aluno. Em especial, na abordagem sobre a Teoria do Modelo Padrão, que surge a partir de novas descobertas iniciadas no início do século XX. O Modelo Padrão das Partículas Elementares é sem dúvidas a mais sofisticada teoria desenvolvida que identifica as partículas elementares que dão suporte para a construção da matéria e da estrutura atômica como um todo. Além do mais, o Modelo descreve as interações entre as forças fundamentais da natureza que estão presentes nas interações mais íntimas entre as partículas (GOMES, 2017).

Assim, o desafio é conceber uma estrutura de ensino que supere da melhor maneira possível as dificuldades em desenvolver uma aprendizagem significativa. Para tal é necessário estimular o estudante durante o processo e o encorajá-lo a querer saber mais sobre o tema. Como discorre (TAVARES, 2008):

Quando o aprendiz tem pela frente um novo corpo informações e consegue fazer conexões entre esse material que lhe é apresentado e o seu conhecimento prévio em assuntos correlatos, ele estará construindo significados pessoais para essa informação, transformando-a em conhecimentos, em significados sobre o conteúdo apresentado. Essa construção de significados não é uma apreensão literal da informação, mas é uma percepção substantiva do material apresentado, e desse modo se configura como uma aprendizagem significativa (TAVARES, 2008, p. 95).

Corroborando essa ideia, estão os Parâmetros Curriculares Nacionais do Ensino Médio (BRASIL, 2000), quando aborda a importância da contextualização no ensino:

O tratamento contextualizado do conhecimento é o recurso que a escola tem para retirar o aluno da condição de espectador passivo. Se bem trabalhado permite que, ao longo da transposição didática, o conteúdo do ensino provoque aprendizagens significativas que mobilizem o aluno e estabeleçam entre ele e o objeto do conhecimento uma relação de reciprocidade. A contextualização evoca por isso áreas, âmbitos ou dimensões presentes na vida pessoal, social e cultural e mobiliza competências cognitivas já adquiridas. (BRASIL, 2000, p. 59)

Outro contexto importante, é a necessidade de enfatizar as questões de Ciência, Tecnologia, Sociedade e Meio-Ambiente durante esse processo de ensino. É importante que o estudante compreenda que os conhecimentos científicos possuem aplicações tecnológicas pertinentes e principalmente que eles utilizem deste conhecimento para o exercício da cidadania. Além disto, a partir do Modelo Padrão se tem a possibilidade de demonstrar um aspecto da Física como ciência, sendo ela ainda viva e dinâmica, já que os conhecimentos que se tem hoje sobre partículas elementares pode mudar ao longo do tempo, aspecto que possui na Física Clássica (OSTERMANN; MOREIRA, 2001).

2.4 EXPERIMENTO DA GOTA DE ÓLEO

O experimento de Thomson de 1897, utilizando dos raios catódicos, provou a existência do elétron. Entretanto, J.J. Thomson não conseguiu determinar com sucesso a carga elementar do elétron. Determinou apenas uma razão da carga (e) pela massa do elétron e essa estimativa não foi nem de longe confiável. Porém, Robert Andrews Millikan usou de toda sua engenhosidade experimental para montar um dos mais belos experimentos científicos, de maneira muito simples e engenhosa para encontrar resultados experimentais incríveis (BISHOP; XIAN; FELLER, 2019).

Em um contexto histórico, este experimento apresenta-se com uma grande importância nos avanços científicos da Física. Desenvolvido por Robert Andrews Millikan (1868-1953) em 1909 mostrou ao mundo a quantização da carga elétrica, mais especificamente da carga do elétron propriamente dito. Millikan percebeu em suas medidas experimentais que, analisando as velocidades terminais de ascensão de uma gota de óleo ionizada por partículas α (alpha) em um meio viscoso era possível determinar a carga elétrica associada a esta gota. E com uma precisão de 0,1% foi possível chegar à conclusão de que as cargas elétricas associadas a cada gota eram sempre o produto de um número natural n multiplicado por uma quantidade bem definida de carga elétrica e ($e, 2e, 3e, \dots, ne$), ou seja, múltiplos de uma unidade fundamental da natureza. Desse modo, Millikan determinou o valor real da carga elementar do elétron sendo $1,602 \cdot 10^{-19}$ coulombs (VEISSID; PEREIRA, 2014).

Esse experimento, portanto, pode introduzir de maneira prática e didática propriedades intrínsecas das partículas elementares, já que os resultados encontrados experimentalmente tratam-se de uma propriedade intrínseca de uma partícula elementar, neste caso de um *lépton*, o elétron que possui uma carga elementar. Historicamente, os resultados obtidos por Millikan, foram as primeiras evidências de que a matéria, mais em específico as partículas, possuíam características quantizadas e bem definidas, o que justifica a sua aplicação no ensino de Física, principalmente na inserção da FMC no EM de modo prático.

2.5 CÂMARA DE NUVENS

Desenvolvida por Charles Wilson, na Universidade de Cambridge, em 1911 a Câmara de Nuvens ou Câmara de Wilson foi o primeiro aparato experimental a conseguir observar a existência de partículas subatômicas através das interações com a matéria. Atualmente, esse experimento é muito utilizado no estudo de partículas elementares e de raios cósmicos, provenientes da propagação de partículas do universo que interagem com a atmosfera Terrestre (LAGANÁ, 2011).

Historicamente, esse experimento foi muito importante, pois através dele Carl Anderson detectou o pósitron, a antipartícula do elétron em 1932. Além disso, o surgimento da Câmara de Nuvens vai ao encontro com as descobertas dos raios cósmicos, através do físico Victor Hess, em 1912 e que mais tarde, em 1938 o físico Pierre Auger, utilizou da câmara de nuvens, contadores Geiger e câmaras de ionização para identificar a formação de chuviscos

atmosféricos, formados pelos raios cósmicos, estes chuueiros que se estendem por grandes áreas na atmosfera(PINHEIRO, 2015).

Diante dessa relevância histórica, justifica-se o uso desse experimento em sala de aula, haja visto que é um instrumento didático com muito potencial de contextualização histórica e conceitual sobre a Física de partículas.

2.6 OFICINAS

Buscando novas estratégias de ensino na tentativa de promover um ensino contextualizado e atrativo, surgem como possibilidade as Oficinas Didáticas. Já que essa estratégia pedagógica permite a reconstrução do conhecimento. Elas podem proporcionar a construção do conhecimento crítico e criativo, já que são pautadas em atividades práticas e na valorização do trabalho em equipe. Assim, para KRAMES et al. (2015 apud VIEIRA; VALQUIND, 2002), é necessário fomentar o aprendizado através do diálogo entre os participantes. E a oficina proporciona uma nova maneira de comunicação entre professores e estudantes, já que é estabelecida uma equipe de trabalho, onde começam a aparecer contribuições individuais e o professor deve então explorar essa dinâmica (VIEIRA; VALQUIND, 2002).

Outro fator favorável é a possibilidade de transformar conceitos abstratos em realidades para o aluno. Através de atividades lúdicas, inserindo o estudante no contexto do tema, fazendo o explorar, refletir e sintetizar os conceitos a partir dos conhecimentos que já possui com a nova aprendizagem adquirida a partir da relação entre teoria e prática(LIMA et al., 2015).

Afim de proporcionar um contato com tópicos de FMC, pesquisa científica, experimentação e teoria, questiona-se: "mas por que utilizar uma oficina?" Com o desafio de inserir tópicos de FMC e somadas as dificuldades supracitadas, esta estratégia de ensino pode possibilitar uma aprendizagem contextualizada e com uma troca produtiva de saberes entre professor e alunos, oportunizando situações de ensino e aprendizagem, a partir da ação e reflexão, produzindo como resultado final a apropriação de conhecimentos concretos de teoria e prática sobre o tema abordado (PAVIANI; FONTANA, 2009).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O Ensino de Física pode ser aplicado de diversas formas, utilizando das mais diversas metodologias de ensino possíveis, desde o uso do livros didáticos, leituras, resolução de problemas, aspectos históricos de teorias e modelos, o uso da informática como computadores, simuladores e tecnologias da informação e comunicação. Essas questões aparecem fortemente nas Diretrizes Curriculares da Educação Básica do estado do Paraná (2008). E, assim sendo, a respeito dos processos de ensino-aprendizagem, segundo tais diretrizes, é reiterada a importância de três pautas para a aprendizagem na educação básica, principalmente se tratando de ensino de Física. São elas: i) Conhecimento prévio dos alunos, experiências de vida ou relações sociais; ii) experimentação; e iii) o formalismo matemático. Nesse sentido, PARANÁ (2008) traz que

É importante que o processo pedagógico, na disciplina de Física, parta do conhecimento prévio dos estudantes, no qual se incluem as concepções alternativas ou concepções espontâneas. O estudante desenvolve suas concepções espontâneas sobre os fenômenos físicos no dia-a-dia, na interação com os diversos objetos no seu espaço de convivência e as traz para a escola quando inicia seu processo de aprendizagem (PARANÁ, 2008, p. 61).

Contudo, é importante contextualizar para os estudantes que o pensamento científico ainda está em construção, que é algo longe de estar acabado. Reforçando assim, que, existe uma evolução científica que ocorre ainda nos dias atuais e quais são os resultados e a influência no cotidiano e na sociedade como um todo. Esses aspectos devem ser dados a partir de uma relação mútua entre professores e estudantes a partir do compartilhamento de conhecimentos e significados em busca de uma aprendizagem significativa, relacionando novas informações com conhecimentos prévios e em simultâneo relacionar, diferenciar, modificar e enriquecer a formação intelectual a partir de um ensino-aprendizagem de qualidade (PARANÁ, 2008).

Pensando nestes princípios, foi desenvolvida uma sequência didática transformada em um modelo de oficina para ser realizada de maneira contextualizada, resgatando os conhecimentos prévios e a experiência de vida dos estudantes.

Nesse sentido, a estrutura e atividades da oficina foram planejadas para serem aplicadas no âmbito escolar com uma carga horária de 5 horas/aula, aplicadas em horários diferenciados do período de aula utilizando diferentes metodologias que possam contribuir para a inserção da FMC no EM. As atividades abordadas na estrutura da Oficina são:

1. Aplicação de questionário prévio;
2. Experimento da Gota de Óleo de Millikan;
3. Tabela do Modelo Padrão
4. Construção de um Modelo Didático;
5. LHC e SIRIUS;
6. Experimento da Câmara de Nuvens;
7. Questionário final.

Com isso, espera-se, a partir das atividades listadas acima, que a aplicação da oficina no EM seja útil na inserção de tópicos de FMC, de modo que os alunos possam perceber a importância dessa aprendizagem no seu cotidiano.

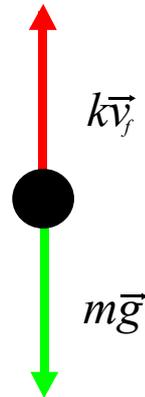
3.1 MONTAGEM DO EXPERIMENTO

A montagem do experimento da gota de óleo é dada a partir de um borrifador de gotículas de óleo, uma fonte de partículas α , um sistema de placas condutoras, fonte de tensão contínua para gerar campo elétrico. Assim, é possível ionizar as gotículas, com isso algumas gotas acabam por adquirir uma carga elétrica e ao inverter a polaridade do campo elétrico entre as placas e a intensidade do mesmo, por meio do aumento ou diminuição da tensão contínua, é possível controlar o movimento das gotículas de óleo, já que por conta da ionização, as gotas ficam sensíveis ao campo elétrico associado, permitindo assim realizar as medidas de velocidades inúmeras vezes, reproduzindo com precisão o experimento de Millikan e verificando a quantização da carga elétrica (VEISSID; PEREIRA, 2014).

A teoria por trás dos resultados obtidos experimentalmente está relacionada com o somatório de forças atuantes sobre as gotas de óleo. Nesse experimento é necessário analisar o movimento de subida e descida das gotas em função do campo elétrico aplicado. Assim, devem-se analisar separadamente os respectivos movimentos para encontrarmos uma expressão para a carga associadas as gotas de óleo. Desse modo, é possível verificar que as velocidades de cada movimento são constantes, neste caso, chamada de velocidade terminal, já que são proporcionais ao somatório das forças aplicadas nas gotas menos as forças de arraste dada a partir da interação das gotas com o ar. Vamos então analisar o movimento de descida e o somatório de forças respectivamente, como mostram as Figuras 2 e 3.

A Figura 2 mostra as forças atuantes em uma gota. Onde k é o coeficiente de atrito entre o ar e a gota, V_f é a velocidade da queda, m é a massa da gota e g é a aceleração da gravidade. As setas representadas em vermelho e verde mostram os vetores relacionados a essas forças respectivamente.

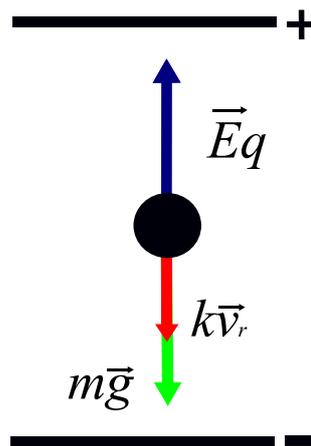
FIGURA 2 – DIAGRAMA DE FORÇAS NO MOVIMENTO DE DESCIDA



FONTE: Adaptado de PASCO AP-8210A

Deve-se também analisar o movimento de subida da partícula e as forças que atuam na gota. A figura 3 mostra as forças atuantes em uma gota realizando o movimento de ascensão. Onde k é o coeficiente de atrito entre o ar e a gota, V_r é a velocidade de ascensão, m é a massa da gota, g é a aceleração da gravidade, E é a intensidade do campo elétrico e q é a carga associada a gota. As barras na parte superior e inferior da imagem mostram as placas conectadas a fonte de tensão de corrente contínua. As setas representadas pelas cores azul, verde e vermelho mostram os vetores do campo elétrico, aceleração da velocidade e da velocidade de subida respectivamente.

FIGURA 3 – DIAGRAMA DE FORÇAS NO MOVIMENTO DE ASCENÇÃO



FONTE: Adaptado de PASCO AP-8210A

Desse modo, teremos duas equações respectivamente para cada movimento. Para o primeiro caso teremos,

$$mg = kV_f. \quad (1)$$

e no segundo caso,

$$qE = mg + kV_r. \quad (2)$$

Igualando k em (1) e substituindo em (2), pode-se obter:

$$q = \frac{mg(V_f + V_r)}{EV_f}. \quad (3)$$

Da equação (3) vamos eliminar a massa da gota de óleo, para isso utilizamos da expressão do volume de uma esfera e da densidade de um óleo:

$$mg = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g. \quad (4)$$

Assim, obtemos a expressão:

$$q = \frac{4\pi a^3 \rho g (V_f + V_r)}{3(EV_f)}. \quad (5)$$

Sendo a o raio da esfera, ρ a densidade do óleo, g aceleração da gravidade, E a intensidade do campo elétrico, V_r e V_f as velocidades de ascensão e descida, respectivamente. O raio da esfera, pode ser obtido a partir da Lei de Stokes, que relaciona o raio de um corpo esférico com a velocidade de queda. A densidade do fluido, neste caso do óleo mineral, a viscosidade do ar e a aceleração da gravidade. É importante substituir da expressão os termos da massa da gota para o raio da esfera, pois existe uma relação entre o raio e a velocidade das gotas e não é possível determinar com precisão a massa da gotícula utilizada. A relação que queremos é dada a partir da Lei de Stokes, da seguinte maneira:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta V_f}{2\rho g}}. \quad (6)$$

Onde η é a viscosidade do ar, V_f a velocidade de queda, ρ a densidade do óleo e g a aceleração da gravidade. Contudo, a Lei de Stokes necessita de uma correção para velocidades muito baixas, o que ocorre de fato durante o experimento, assim a expressão para o raio da gota é:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta V_f}{2\rho g} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)}. \quad (7)$$

Onde b é uma constante cujo valor é $b = 8,2 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{m}$ e p a pressão atmosférica. A equação (7) pode ser rearranjada transformando a em uma equação de 2º grau e isolando novamente a , o raio da esfera, temos que:

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta V_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p}. \quad (8)$$

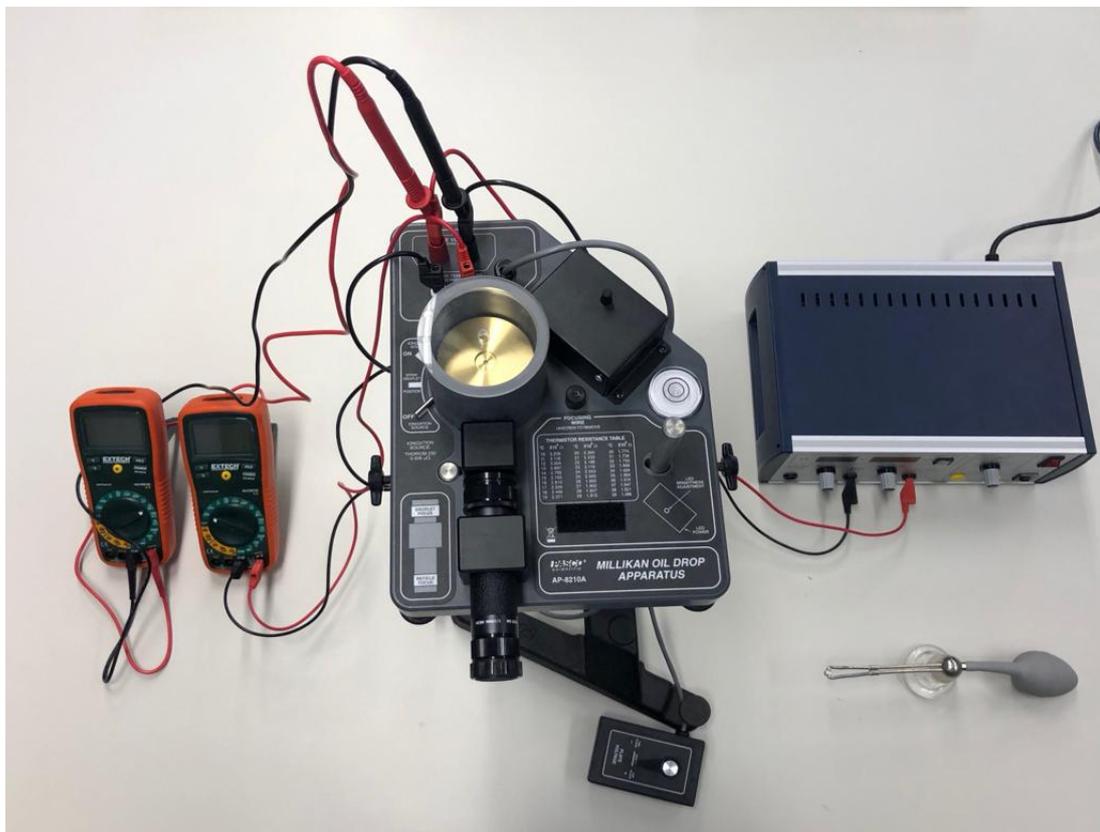
Finalmente, substituindo a equação (8) em (5), e tomando a intensidade do campo elétrico dada por $E = \frac{V}{d}$, obtemos que:

$$q = \frac{4\pi}{3} \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta V_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \frac{\rho g d (V_f + V_r)}{V V_f}. \quad (9)$$

E assim, obtemos a expressão para a carga elétrica associada as gotículas de óleos visualizadas durante o experimento. Este desenvolvimento foi retirado de (AP-8210A, 2019)

Utilizou-se esse experimento durante a aplicação da Oficina e para isso se fez necessário desenvolver uma metodologia para o experimento a partir do KIT Pasco AP-8210A disponibilizado pela Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. A montagem dos aparatos é demonstrada na Figura 4.

FIGURA 4 – MONTAGEM DO EXPERIMENTO DA GOTA DE ÓLEO



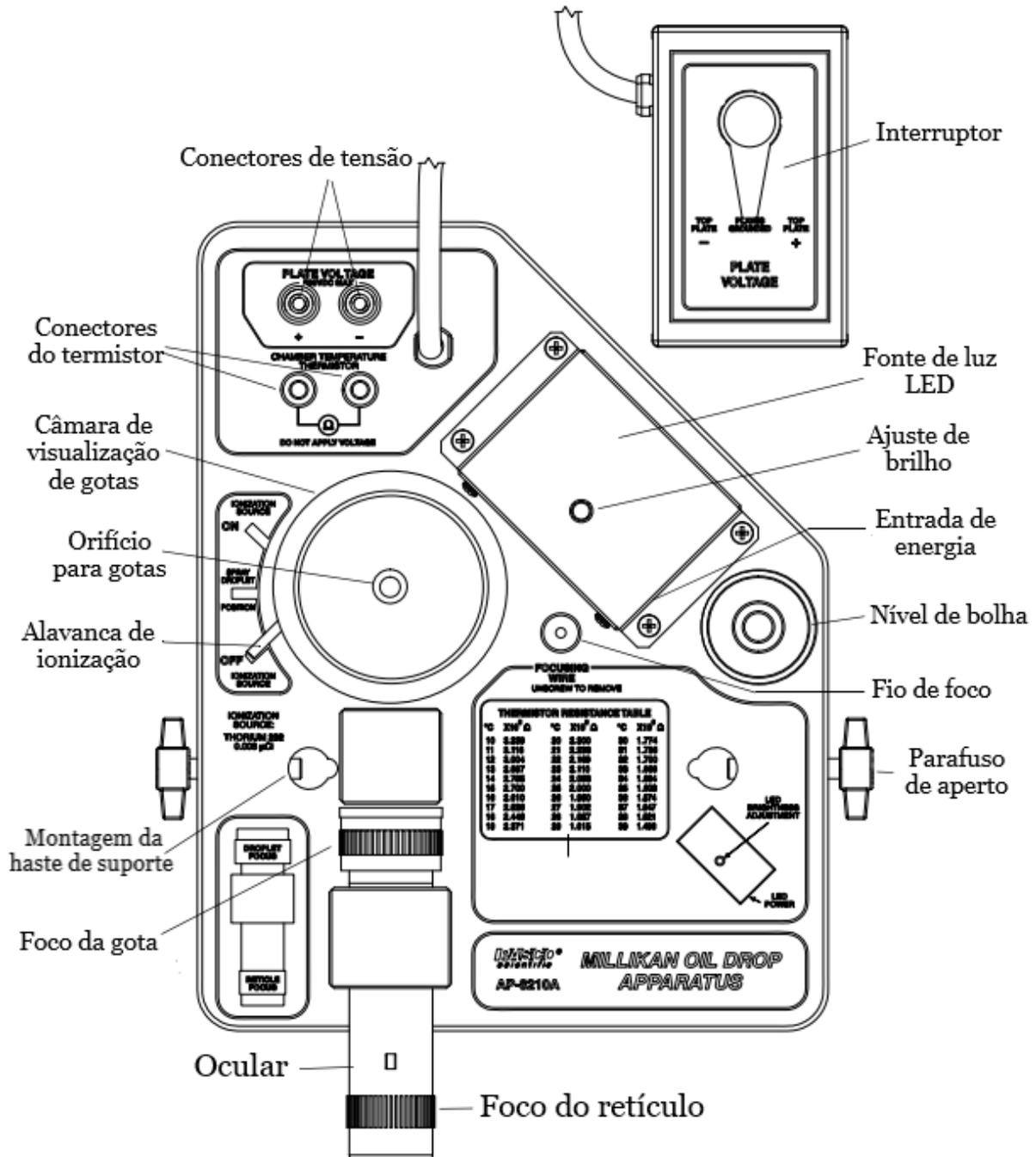
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

Além do conjunto PASCO AP-8210A é necessário para a realização do experimento uma fonte de tensão de corrente contínua, multímetros, cronômetro, atomizador, 2 pares de fios conectores e um barômetro. Devido aos diversos passos metodológicos necessários para a realização do experimento, é preciso detalhar algumas ferramentas importantes disponibilizadas pelo conjunto PASCO AP-8210A, como mostra a Figura 5. Neste equipamento, existe uma câmara de visualização de gotas, onde existe um pequeno orifício que possibilita encaixar

o atomizador e borrifar as gotículas do óleo específico para a realização do experimento e visualizamos as gotículas através da ocular. Ainda nesta câmara existe outro pequeno orifício por onde passam pouquíssimas gotículas, esse furo está na primeira placa capacitiva que também está inserido dentro da câmara, além desta, existe outra placa capacitiva que são conectadas a uma tensão de corrente contínua gerando o campo elétrico desejado para a realização do experimento. Ao lado da câmara, existe uma alavanca que tem a finalidade de controlar a ionização das partículas, acompanha dessa alavanca existem três posições definidas para ser utilizadas que são respectivamente: i) *Ionization Position - ON*, ii) *spray droplet position*, iii) *Ionization Position - OFF*. Na posição i) a fonte de partículas α é aberta, esta fonte é composta de Tório-232 isolada na câmara. A posição ii) é responsável por permitir a entrada de gotículas no pequeno orifício na placa capacitiva e por fim a posição iii) protege a fonte de Tório-232 não permitindo que ocorra a ionização.

É pertinente manter o experimento sempre nivelado. Para isso então existe um nivelador onde pode-se ajustar o nivelamento do experimento para obter um movimento retilíneo das gotas. O conjunto, há também uma fonte de luz LED que está direcionada para dentro da câmara, essa luz serve para refletir nas pequenas gotas de óleo borrifadas, melhorando a visualização das gotas. O conjunto possui um interruptor que com ele é possível alterar a polaridade das placas condutoras, sendo possível controlar o movimento das gotas invertendo o sentido do campo elétrico, ou apenas ligando-o ou desligando-o.

FIGURA 5 – COMPONENTES DO CONJUNTO PASCO AP-8210A



FONTE: Adaptado de PASCO - AP-8210A

A seqüência para esse experimento foi desenvolvida ao longo do primeiro semestre de 2019, na Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina, no laboratório de Física - Bloco 3. E está pautada em uma série de passos a serem realizados durante o experimento e foi baseada no manual que vem agregado ao conjunto. Contudo algumas alterações foram realizadas no procedimento experimental, pois, percebeu-se a necessidade de realizar alguns ajustes na metodologia sugerida. Seguem os passos:

1. O experimento deve ser realizado em dupla. Um aluno deve realizar a observação das gotas e manusear o interruptor que controla o sentido do campo elétrico e o outro deve marcar os tempos de ascensão e descida utilizando um cronômetro;
2. A realização deve ser feita em um ambiente fechado, de modo que se consiga escurecer o espaço da melhor maneira possível, para que seja melhorada a visualização das gotas;
3. A montagem do experimento deve ser através de um suporte com hastes duplas, deve-se também nivelar corretamente o Kit, através do nivelador de bolha;
4. Após a montagem do experimento, a fonte de tensão de corrente contínua e os multímetros devem estar devidamente conectados ao experimento;
5. Com a fonte ligada ajusta-se a tensão desejada para o experimento;
6. Um dos multímetros deve medir a tensão que chega até os capacitores e o outro deve medir a resistência dentro da câmara de visualização;
7. Antes de cada medida, anota-se o valor da voltagem (d.d.p.) e da resistência marcados pelo multímetro;
8. Anota-se o valor da pressão atmosférica no momento da medida, através de um barômetro ou de forma similar;
9. Antes de utilizar o atomizador para inserir as gotículas de óleo é necessário deixar a alavanca ao lado da câmara na posição *Spray droplet position*;
10. Após acionar o atomizador, altera-se a posição da alavanca para *Ionization Source - ON*, permitindo assim, que as partículas α ionizem as gotas de óleo;
11. O aluno responsável por medir os tempos deve marcar 30 segundos no cronômetro, este será o tempo de ionização para o experimento;
12. Passado o tempo de ionização, altera-se a posição da alavanca para *Ionization Source - OFF*;
13. O aluno responsável em realizar a observação deve olhar atentamente pela ocular do experimento e encontrar uma gota de sua preferência para medir os tempos de descida e subida controlando o movimento da gota através do interruptor, acionando e retirando o campo elétrico gerado entre as placas;
14. Deve-se medir cerca de 10-20 tempos de descida e ascensão respectivamente e ao perceber uma variação muito grande entre os respectivos tempos, encerra-se a série de medidas;
15. Para uma nova série, repete-se o procedimento experimental a partir do 7º passo.

Nota: Tempos de descidas das gotas devem estar abaixo de 25 segundos, se a gota escolhida estiver com um tempo de queda maior, recomenda-se escolher uma nova gota para a realização das medidas experimentais. Isso é recomendado, pois as incertezas na medida dos tempos serão muito elevadas.

O trabalho estatístico a partir dos dados experimentais obtidos ao longo das medidas experimentais realizadas no Laboratório de Física da Universidade Federal do Paraná - Setor

Palotina, será apresentado ao longo do capítulo de resultados do presente trabalho, como a propagação de erros e o desenvolvimento de gráficos para apresentação dos resultados obtidos para a carga elementar do elétron.

Esse trabalho estatístico será realizado a partir do *Software Livre WxMaxima* que permite a realização de cálculos matemáticos com muita precisão, como diferenciação, integração, vetores, matrizes, entre outros. O programa permite também a criação de gráficos de duas ou três dimensões a partir de funções ou de dados experimentais. O meio de uso do *WxMaxima* é dado a partir da manipulação de comandos específicos do programa, em que se torna possível criar os gráficos necessários, bem como a propagação dos erros das medidas realizadas experimentalmente (FLORES et al., 2013).

3.2 MONTAGEM DA CÂMARA DE NUVENS

Visando a utilização de experimentos com um custo acessível para a aplicação em sala de aula. O experimento da Câmara de Nuvens aparece como uma opção viável de utilização para explorar conteúdos de FMC no EM, principalmente se tratando de partículas elementares e raios cósmicos. De modo geral, para a montagem desse experimento é necessário uma cuba de vidro ou de acrílico (ex: aquário) com cerca de 10 a 15 cm de altura, um pedaço de tecido de feltro escuro, uma chapa metálica de cobre ou alumínio pintada de preto fosco, isopor de tamanho um pouco maior que a chapa e Álcool (99%). Como mostra a Figura 6.

FIGURA 6 – EXPERIMENTO DA CÂMARA DE NUVENS PARA A OFICINA



FONTE: Elaborado pelo Autor (2019)

O funcionamento do experimento se dá a partir da aplicação do álcool (99%) no feltro escuro que deve estar fixado na parte inferior da cuba de vidro, até que o mesmo fique bem umedecido. Assim, à temperatura ambiente, o álcool começa a evaporar. Após isso, deve-se resfriar a chapa metálica a cerca de -30°C e encaixar a cuba de vidro na mesma, com a parte aberta voltada para a chapa metálica, isolando o álcool dentro do recipiente. A partir das diferenças de temperatura entre a parte superior e inferior do experimento, irá ocorrer o processo de condensação do álcool evaporado do tecido nas proximidades da superfície da chapa metálica resfriada. Neste experimento, o objetivo é visualizar a interação entre partículas cósmicas com a névoa formada, essa interação é caracterizada por "traços" que se formam em pequenos espaços de tempo no interior da cuba de vidro. Assim, esse fenômeno de interação com a matéria evidencia a existência das partículas cósmicas e de partículas sub-atômicas como as presentes na Tabela do Modelo Padrão (FIGURA 1).

Usualmente é utilizado gelo seco para resfriar de maneira suficiente a chapa metálica do experimento. Entretanto, devido à dificuldade de encontrar o gelo seco na região, buscou-se materiais alternativos para o mesmo. Extintores de CO_2 expõem este material à temperaturas de aproximadamente -40°C , dessa maneira, esse produto é uma alternativa viável para o experimento, pois, é encontrado de maneira facilitada e pode até mesmo ser obtido de modo gratuito em lojas revendedoras, através do empréstimo extintores que estão indo para as suas devidas recargas. Garantindo assim, um custo acessível para o experimento, permitindo sua aplicação e abordagem desse tema no EM. Durante o experimento é necessário manter o ambiente com pouca iluminação, a visualização da interação das partículas é dada a partir da iluminação da cuba de vidro com uma Lanterna. A Figura 7 apresenta todos os materiais necessários para o experimento da Câmara de Nuvens.

FIGURA 7 – MATERIAIS NECESSÁRIOS PARA A CÂMARA DE NUVENS



FONTE: Elaborado pelo Autor (2019)

Na Figura, aparece a chapa metálica feita sob medida para o encaixe da cuba de vidro, a cuba de vidro com o feltro escuro, álcool isopropílico, extintor de CO₂, a caixa de isopor e a Lanterna de LED.

4 DESENVOLVIMENTO

4.1 EXPERIMENTO DA GOTA DE ÓLEO

As atividades experimentais realizadas com o Experimento da Gota de Óleo de Millikan foram realizadas durante todo o primeiro semestre do ano de 2019 no Laboratório de Física, da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. Sendo que os encontros foram realizados três vezes por semana fazendo uso do conjunto PASCO-AP8210A. Os dados experimentais também foram trabalhados de forma prévia durante esta etapa, para que fosse possível ter um acompanhamento do avanço da metodologia proposta, fazer os ajustes necessários na proposta metodológica, compreender o funcionamento do experimento de maneira geral e construir uma bagagem de conhecimento sobre o experimento, para que se tivesse um domínio completo do mesmo para posterior utilização durante a oficina proposta, como um material auxiliar prático e de contextualização sobre a FMC.

4.2 OFICINA

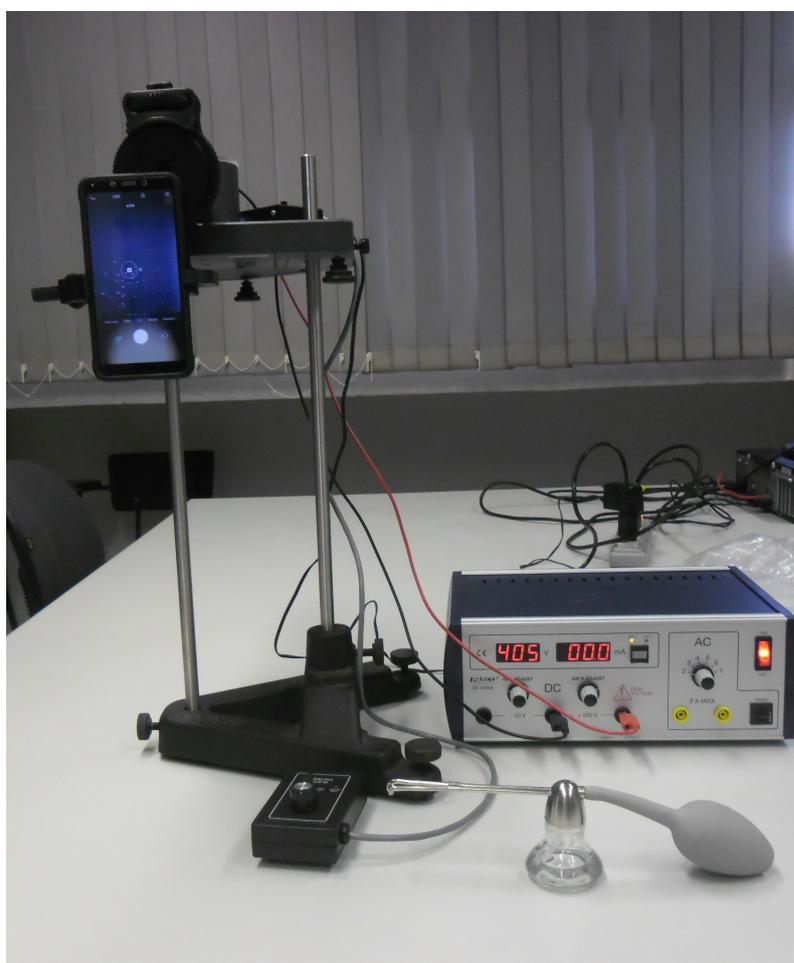
No primeiro momento da Oficina foi realizado um questionário prévio (APÊNDICE 01 - Questionário Prévio) onde os alunos responderam questões de múltipla escolha a respeito de temas relacionados a FMC e que posteriormente seriam abordados durante as atividades da oficina. Assim, foi possível analisar posteriormente o conhecimento prévio dos alunos participantes a respeito da FMC. A Análise das respostas deste questionário será realizada na seções de Resultados.

Na sequência, deu-se início a apresentação do Modelo Padrão, para isso, foi promovido uma discussão sobre quais são as estruturas da natureza que formam a matéria e o Universo. Perguntas como: "Do que são compostos os objetos que nos rodeiam?", "E os átomos? Do que são feitos?" e "E os prótons? Do que são feitos?" foram feitas para os alunos, de modo que, os mesmos pudessem expor suas ideias e seus conhecimentos prévios. Essa sequência de perguntas retrata bem as ideias centrais do que é a Teoria do Modelo Padrão. Assim, após a discussão inicial foi exposto que essa teoria busca explicar as partículas elementares da natureza e como estas compõem toda a matéria do Universo e do nosso Planeta. E que a busca por essas perguntas começa a partir da necessidade de se compreender o início do universo, ou seja, quais partículas existiam segundos após o Big Bang. Para contextualizar essa ideia foi apresentado um breve vídeo de animação ("O princípio do universo, para principiantes", 2013)WHYNTIE (2013). Assim, contextualizou-se as ideias gerais sobre a Teoria e o que ela buscava responder. Após este momento foi apresentado quais eram as partículas presentes na Tabela do Modelo Padrão (FIGURA 1), bem como as características gerais de cada uma delas.

Em seguida, foi apresentado que o Elétron é uma das partículas elementares presentes na Tabela do Modelo Padrão. Se tratando de uma partícula muito conhecida e utilizada na aprendizagem no EM em especial no ensino de Física. Então, foi apresentado aos alunos o

experimento histórico da Gota de Óleo de Millikan, que determinou a carga elementar da eletricidade (e). Através do conjunto PASCO-AP8210A e da abordagem realizada a partir de uma explicação e demonstração do experimento foi possível contextualizar quais foram os meios que permitiram encontrar o valor exato para a carga elementar do elétron de $1,602 \cdot 10^{-19}C$ esse valor, que por sua vez é muito utilizado nas aulas de Física no EM. A apresentação do movimento de subida e descida das gotículas de óleo dentro da câmara do experimento foi possível a partir de um suporte para celular, permitindo o uso da câmera desse tipo de equipamento para ampliar a imagem capturada e projeta-lá na sala usando o *Datashow*, como mostra a Figura 8.

FIGURA 8 – MONTAGEM DO EXPERIMENTO DE MILLIKAN PARA A OFICINA



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

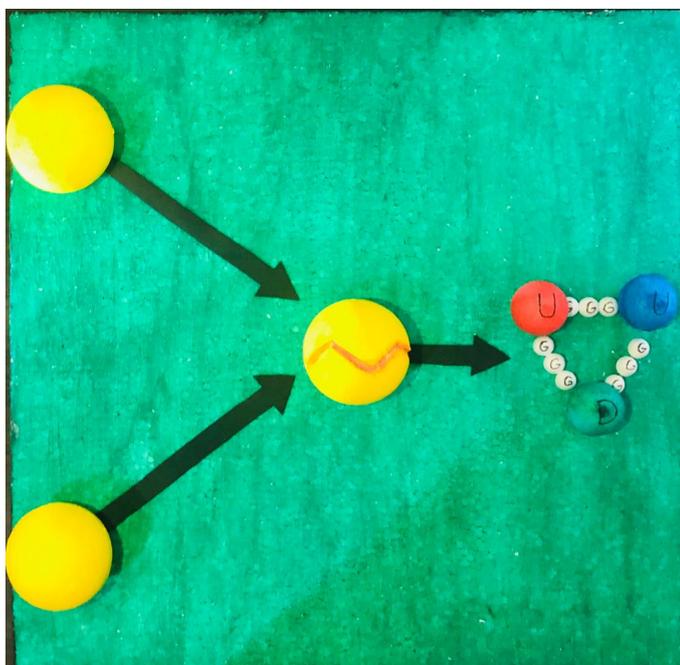
Após a abordagem sobre o Experimento de Millikan, retomou-se as partículas elementares presentes na Tabela do Modelo Padrão. Para isso foi proposta a construção de um Modelo Didático da Tabela, foi disponibilizado aos alunos os materiais necessários para a confecção do Modelo Didático, onde os alunos deveriam construir em grupos a própria Tabela do Modelo Padrão, enfatizando as características de cada partícula presentes na mesma como, quem são os *Quarks*, os *Léptons* e os *Bósons*, a massa relativística, a carga e o spin de cada

uma respectivamente. Durante esta etapa, de maneira simultânea trabalhou-se a existência dos bósons e suas relações com as quatro Forças Fundamentais da Natureza (Gravitacional, Eletromagnética, Nuclear Forte e Nuclear Fraca).

Na sequência das atividades da Oficina, foi reproduzido um pequeno vídeo que resume toda a Teoria do Modelo Padrão através de animações que contextualizam os conceitos desta teoria, denominado de ("*What's the smallest thing in universe? - Jonathan Butterworth*", 2018) BUTTERWORTH (2013) com duração de aproximadamente 5 minutos. Trata-se de um curta metragem narrado que contextualiza esta teoria. Demonstrando também mais uma vez, as características gerais de cada partícula elementar.

Após a construção do modelo didático, trabalhou-se uma abordagem voltada para o lado científico desta Teoria, através de como ocorre a pesquisa atual deste tema e como se deu no passado o desenvolvimento desses estudos. Apresentou-se então, os aceleradores de partículas, em especial em um primeiro momento o LHC. Foi apresentado um vídeo com uma duração de 6 minutos ("*LHC - O Grande Colisor de Hádrons (LEGENDADO)*", 2015) DUARTE (2015), em que mostra as dimensões reais e o funcionamento de um laboratório como este, bem como, as conquistas científicas que o LHC já proporcionou desde que foi finalizada sua construção, como a detecção do Bóson de Higgs, em 2012. Para ilustrar o que ocorre em um acelerador de partículas, em especial uma colisão entre prótons foi elaborado um modelo didático simulando a colisão entre dois prótons, como mostra a Figura 9.

FIGURA 9 – MODELO DIDÁTICO DA COLISÃO ENTRE PRÓTONS



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

Seguindo nessa abordagem, da pesquisa atual, apresentou-se para os alunos o acelerador de partículas brasileiro, o SIRIUS, mostrando que o Brasil também é atuante nesse tipo de

pesquisa principalmente em se tratando de pesquisas com luz síncroton. Para auxiliar na contextualização, além de imagens desse laboratório foi reproduzido dois vídeos relacionados a este laboratório sendo o primeiro denominado de ("Sirius: Novas possibilidades para a luz síncroton brasileira", 2017) com duração de 3 minutos e um segundo vídeo denominado como (As mentes por trás do maior acelerador de partículas do Brasil, 2018) com duração de 3 minutos, ambos mostram a estrutura desse laboratório brasileiro, como também o trabalho de alguns pesquisadores que trabalham ali e, além disso, quais os possíveis resultados tecnológicos das pesquisas a serem realizadas no SIRIUS.

Uma breve abordagem sobre a pesquisa de raios cósmicos também foi realizada, a partir da apresentação do início dessa pesquisa no século XX com Victor Hess até os observatórios atuais, como o localizado na argentina o Observatório Pierre-Auger. Além disso, a pesquisa do físico brasileiro César Lattes foi tratada, principalmente em relação às suas contribuições para a descoberta do Méson-Pi.

Finalizando a oficina, foi entregue aos alunos um questionário final (APÊNDICE 02 - Questionário Final) com o objetivo de avaliar a aprendizagem que cada participante obteve bem como obter um *feedback* sobre a oficina em si, em aspectos como: abordagem do conteúdo, linguagem utilizada e recursos pedagógicos utilizados. Após, a realização do questionário por parte dos alunos, chegou o momento de demonstração do experimento da câmara de nuvens na tentativa de observar partículas cósmicas através da sua interação com a névoa de álcool formada no interior do experimento. Durante os preparos do experimento foi realizada a explicação do experimento e o que esperava-se observar na câmara de nuvem. Como base do que era necessário observar para se ter sucesso na execução do experimento foi passado um pequeno vídeo em que mostra os "traços" da interação das partículas sub-atômicas com a álcool condensado.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esta seção será dividida em três partes, sendo: i) Resultados obtidos a partir do Experimento da Gota de Óleo de Millikan, bem como as análises experimentais a partir dos dados obtidos durante o primeiro semestre de 2019; ii) Resultados e análise sobre a aplicação da oficina em escolas da rede de ensino pública de cidades da região Oeste do Paraná e iii) Tradução do Manual PASCO AP-8210A.

5.1 RESULTADOS EXPERIMENTAIS

A coleta de dados a partir do conjunto PASCO-AP8210A disponível no Laboratório de Física da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina foi realizada três vezes por semana, ao longo do primeiro semestre do ano letivo de 2019. Em todos os encontros havia pelo menos um, dos orientadores desse trabalho para supervisão e apoio para a atividade. Ao todo foram coletados 54 séries de dados, que são equivalentes a 54 gotas medidas, bem como suas respectivas cargas associadas. Em cada série contabilizada havia vários tempos parciais medidos a partir do movimento de descida e de ascensão, em média, eram medidos 10 tempos para cada movimento, totalizando uma série com, em média, 20 tempos no total.

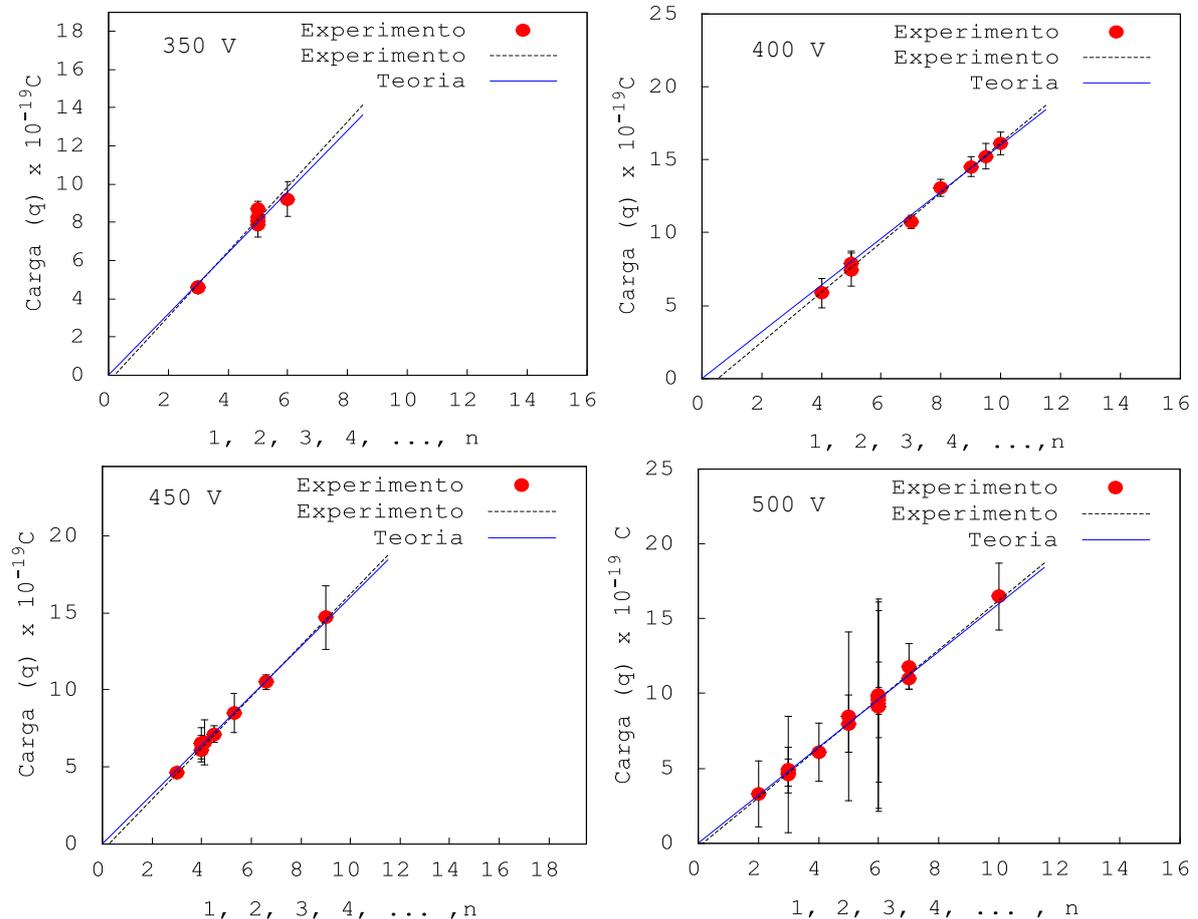
Durante esse período, ao final de cada encontro eram realizados os cálculos prévios da carga de cada gota medida no dia, a partir da expressão (9) apresentada na seção de Materiais e Métodos. Já que, um dos objetivos era desenvolver uma sequência didática de medida eficaz para o experimento. Assim, estes cálculos iniciais contribuíram para o aperfeiçoamento da sequência, já que em alguns momentos era possível encontrar grandes erros no resultado final para suposta carga da gota medida. Desse modo, após a revisão dos cálculos e da realização da propagação dos erros via *Software WxMaxima*, das 54 medidas, 33 puderam ser aproveitadas para análise, apresentando um aproveitamento de 61% dos dados coletados. Para que a metodologia desenvolvida possa ser considerada satisfatória é necessário que os resultados obtidos sejam próximos aos resultados experimentais de Millikan de 1909. De modo geral, espera-se que a metodologia nos mostre dois aspectos importantes do trabalho de Millikan: 1º quantização da carga e 2º o valor para a carga elétrica de $1,602 \cdot 10^{-19}$ Coulombs (MILLIKAN, 1917).

A seguir são apresentados os gráficos comparativos entre teoria e experimento a fim de mostrar se a metodologia foi satisfatória ou não para se chegar a resultados experimentais próximos do ideal. Os passos descritos na seção 3.1 de Materias e Métodos deste trabalho, foram utilizados em diferentes condições para o experimento, a d.d.p aplicada nas placas capacitadoras foi variada para diferentes valores sendo eles: 350 V, 400 V, 450 V e 500 V, para averiguar qual destas tensões aplicadas oferece melhores resultados e aproveitamento para o experimento em termos de precisão e exatidão. E será dessa maneira que os gráficos obtidos como resultados deste trabalho serão apresentados no decorrer desta seção, bem como as

análises para cada tensão aplicada.

Na Figura 10 são apresentados gráficos da carga medida versus um número natural inteiro (n) para as tensões aplicadas de 350 V, 400 V, 450 V e 500 V.

FIGURA 10 – COMPARAÇÃO ENTRE TEORIA E PRÁTICA EXPERIMENTAL



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

A partir dos gráficos acima, é possível perceber a quantização da carga a partir da linha experimental tracejada no gráfico, comparando-a com a linha teórica contínua. A linha teórica nos trás a referência para que os resultados experimentais possam ser considerados ideais, esta linha foi criada a partir da expressão de quantização da carga:

$$q = n \cdot e. \quad (10)$$

onde q é a carga, n um número inteiro positivo e (e) a carga elementar. Essa expressão mostra de forma teórica a quantização da carga, onde (e) é um valor fixo e a carga total de uma gota, por exemplo, deve ser apenas um múltiplo inteiro desse valor. Sabemos hoje, graças ao trabalho de Millikan, que o valor de (e) é precisamente, $1,602 \cdot 10^{-19}$ C. Essa expressão teórica, aliada à parte experimental mostra que, de fato, a carga elementar da natureza é quantizada. Dessa maneira, podemos usar a reta que a expressão (10) nos dá como referência teórica para comparar com os resultados experimentais obtidos a partir da sequência proposta.

Os gráficos de 350 V, 400 V, 450 V e 500 V (FIGURA 10) mostram essa comparação entre o que foi obtido experimentalmente com a linha teórica e o resultado foi bastante satisfatório para todas as tensões aplicadas, já que, todos os pontos obtidos estão próximos do esperado a partir da teoria apresentada, as variações em alguns pontos são justificáveis por conta de imprecisão de toda e qualquer medida experimental. Para isso, foi realizado a propagação de erros para o experimento a partir da expressão (9) com o *Software WxMaxima* para avaliar a precisão dos trabalhos experimentais e proporcionar uma análise a partir dos erros calculados. Nesse aspecto, o gráfico 4 se destaca, já que apresenta barras de erros bastante grandes, ou seja, a incerteza em algumas medidas foi bastante elevada. Entretanto, isso se justifica pelo fato de que as primeiras medidas realizadas foram a partir da tensão de 500 V. Logo, a falta de experiência, de prática e de uma metodologia já estabelecida comprometeram o resultado experimental para algumas medidas. Portanto, essa evidência experimental serve também para mostrar a partir dos outros gráficos a importância de uma metodologia eficaz e que possa contribuir na diminuição dos erro, melhorando os resultados experimentais.

Nos gráficos também é possível visualizar uma linha tracejada experimental que serve de comparação com a linha teórica foi encontrada a partir de uma regressão linear utilizando os valores experimentais obtidos para a carga. Esse método é utilizado para encontrar uma reta que melhor se ajusta aos pontos cartesianos de qualquer gráfico, neste caso, a ideia era encontrar uma reta, a partir da regressão, que além de se ajustar aos pontos, fosse próximo da linha teórica contínua. Servindo assim, como um parâmetro para comprovar a quantização da carga através do trabalho experimental realizado em comparação com o experimento original de Millikan.

A partir do coeficiente angular da reta teórica, em azul, obtemos exatamente o valor de (e) obtido por Millikan de $1,602 \cdot 10^{-19}$ C. E isso nos dá um excelente comparativo a partir dos coeficientes obtidos das retas experimentais (FIGURA 10). Para o gráfico de tensão a 350 V a reta que melhor se ajusta aos pontos é dada pela expressão $q = 1,704 \cdot n - 0,349$ e o coeficiente angular da linha experimental é de $1,554 \cdot 10^{-19}$ C. Do mesmo modo que para o gráfico de tensão a 400 V a reta que melhor se ajusta é $q = 1,708 \cdot n - 0,918$ e o coeficiente é igual a $1,58 \cdot 10^{-19}$ C. Para 450 V a reta é $q = 1,667 \cdot n - 0,446$ e o coeficiente igual a $1,678 \cdot 10^{-19}$ C e por fim no gráfico de tensão a 500 V onde temos o resultado de $1,704 \cdot 10^{-19}$ C para a reta $q = 1,645 \cdot n - 0,255$. O comparativo entre o coeficiente angular da linha teórica com os coeficientes encontrados das linhas experimentais, nos mostra uma proximidade considerável entre o que era esperado e os resultados encontrados.

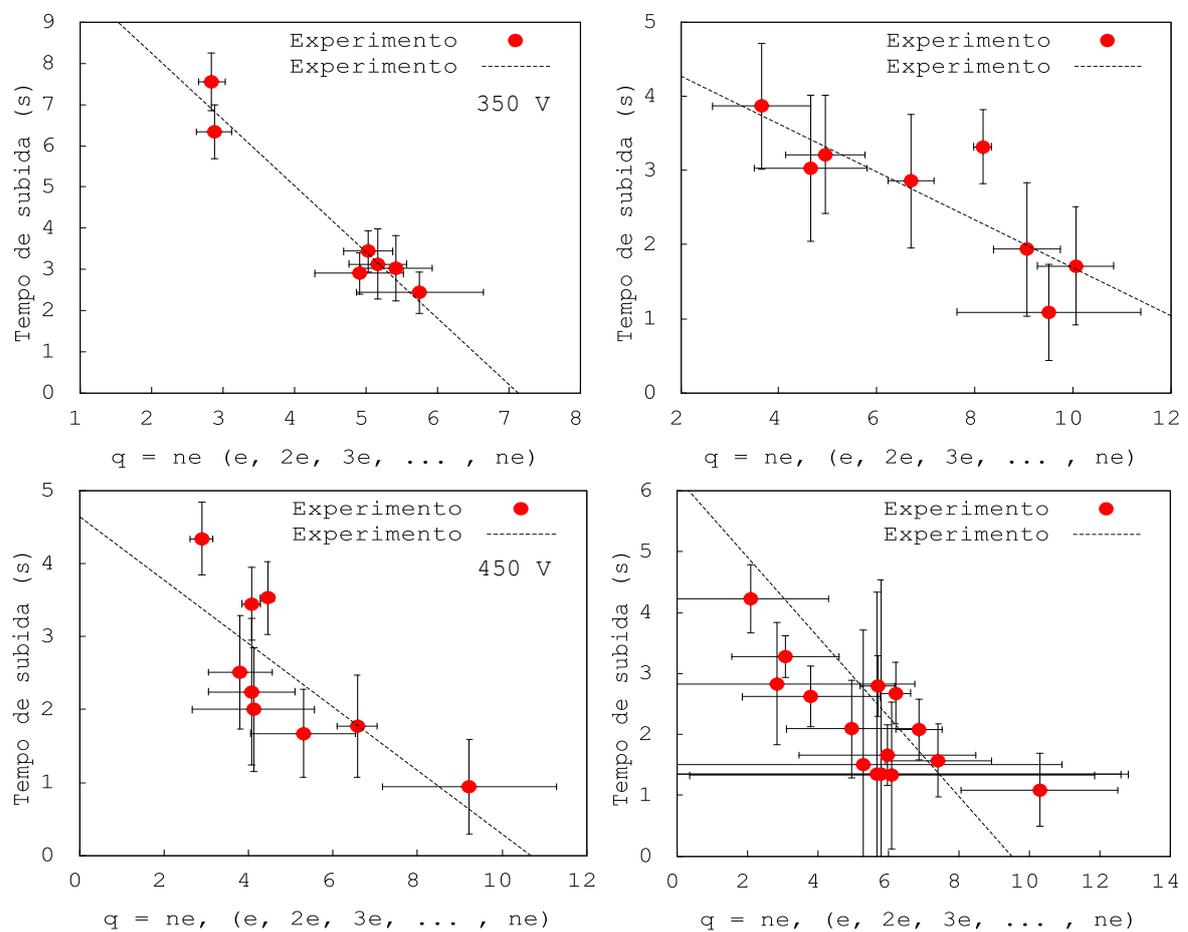
Diante disso, pode-se afirmar que a sequência didática desenvolvida trouxe resultados satisfatórios para a utilização do conjunto PASCO AP-8210A disponível no Laboratório de Física, espera-se que no futuro os resultados desse trabalho possam vir a ser úteis em práticas experimentais que venham a utilizar do experimento e da metodologia apresentada neste trabalho.

Durante todo o processo experimental utilizando o conjunto PASCO AP-8210A,

algumas observações puderam ser feitas a respeito da dinâmica que há entre os movimentos de descida e de ascensão que as gotas de óleo realizam, em especial no segundo caso. Após várias práticas experimentais, foi possível perceber uma relação linear entre tempos de ascensão e a carga (q) das gotículas medidas. Ou seja, pode-se perceber que existe alguma associação linear entre essas duas grandezas, para atestar essa observação serão apresentados na sequência quatro gráficos que apresentam respectivamente cada tensão aplicada, estes buscam apresentar justamente isto que foi observado.

Na FIGURA 11 são apresentados os gráficos dos tempos de subida em segundos versus a carga quantizada ($q = ne$), para as tensões aplicadas de 350 V, 400 V, 450 V e 500 V.

FIGURA 11 – RELAÇÃO ENTRE TEMPOS DE SUBIDA (S) E A CARGA QUANTIZADA



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

Os gráficos da FIGURA 11 mostram a linearidade observada. Apresentamos as respectivas médias de cada tempo de subida para cada gota de óleo versus os valores da carga encontrada respectivamente dividido pela carga elementar (e). Essa relação, nos proporciona uma reta aproximada dada através de regressão linear que nos permite visualizar a relação entre tempos de subida e carga quantizada. A partir do que é observado, podemos estabelecer algumas considerações como: se queremos encontrar gotículas com apenas uma ionização, que

é equivalente a dizer que a gota de óleo possui apenas um elétron, devemos medir tempos de subida relativamente longos em uma faixa de cinco ou mais segundos. Este trabalho experimental trouxe uma grande experiência no manuseio deste experimento, permitindo a sua utilização na aplicação da oficina planejada, principalmente se tratando da sua relevância histórica e científica.

5.2 RESULTADOS DA OFICINA

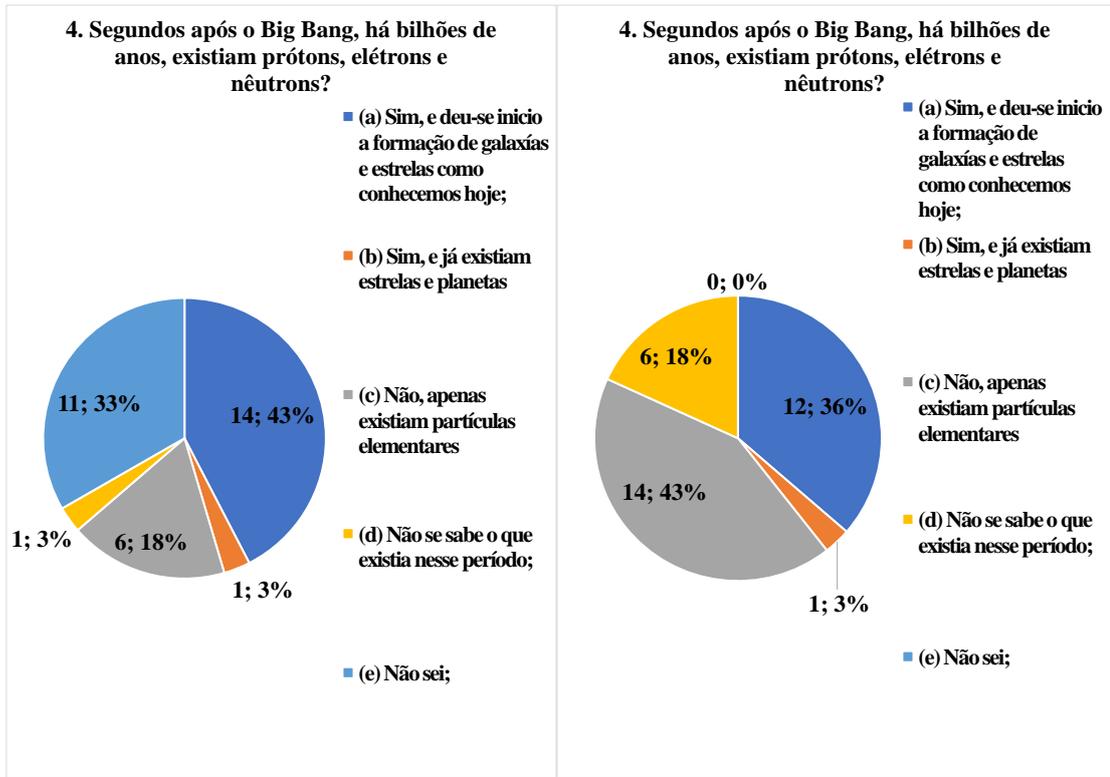
A presente seção será direcionada para a apresentação dos resultados sobre a aplicação da oficina no âmbito escolar do EM da rede pública no estado do Paraná. A oficina foi estruturada para um período de cinco horas/aula que foram aplicadas em duas oportunidades em diferentes colégios da região Oeste do Paraná durante o segundo semestre de 2019, no total foram 33 participantes ingressos nos anos finais do EM. A participação de cada estudante se deu por meio da entrega de uma autorização assinada pelos pais ou responsáveis, que descrevia todas as atividades que seriam realizadas durante a oficina.

Em ambas as oportunidades, o andamento da oficina se deu de forma muito tranquila e produtiva. Na primeira aplicação obtivemos onze participantes enquanto que na segunda, vinte e dois alunos participaram da mesma. Os resultados de ambas as aplicações serão apresentadas em conjunto, a partir das análises que podem ser feitas de acordo com o que foi visualizado na comparação entre o Questionário Prévio - APÊNDICE 01 e o Questionário final - APÊNDICE 02. A pesquisa realizada com base nos resultados dos questionários será de modo quantitativo em que o desempenho dos alunos será importante para avaliar os resultados da oficina.

Ambos os questionários possuíam as mesmas perguntas, sendo quinze no total. Todas as questões são de múltipla escolha, a pesquisa quantitativa será feita a partir da diferença, de modo geral, das respostas dos participantes no questionário prévio para o questionário final. A ideia é mostrar o avanço no pensamento e na construção do conhecimento dos alunos a partir do que foi trabalhado na oficina, possibilitando uma aprendizagem eficaz e útil para o cotidiano dos alunos. Na sequência serão apresentados os resultados obtidos, através de gráficos que mostram o percentual das respostas de algumas das questões baseadas em temas abordados durante a oficina. Das quinze perguntas, apenas alguns gráficos serão apresentados durante a discussão, os demais estarão disponíveis no APÊNDICE 03.

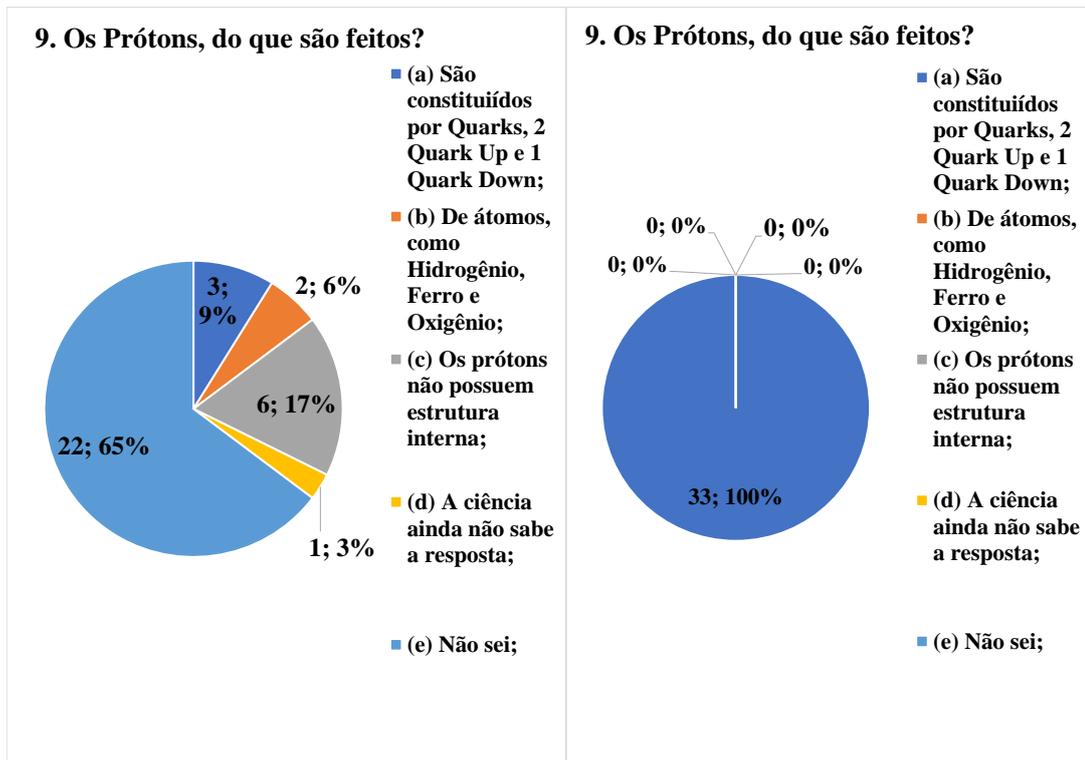
Destacamos aqui quatro perguntas que podem sintetizar os resultados obtidos durante a oficina. A pergunta de número quatro "Segundos após o Big Bang, há bilhões de anos, existiam prótons, elétrons e nêutrons?" esse questionamento realizado nos remete ao que a Teoria do MP busca responder. O que se sabe hoje é que nesse curto espaço de tempo, em uma escala de segundos após o Big Bang, a matéria não existia como conhecemos. Segundo a Teoria, as condições de temperatura eram tão elevadas e os níveis de energia no espaço era tão grande que não era possível ocorrer as ligações entre os *Quarks*, por exemplo, para formar um próton, ou seja, o que se sabe até hoje é que existiam apenas as partículas elementares. A FIGURA 12 apresenta as respostas dos participantes em cada questionário desta pergunta.

FIGURA 12 – PERGUNTA 4 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



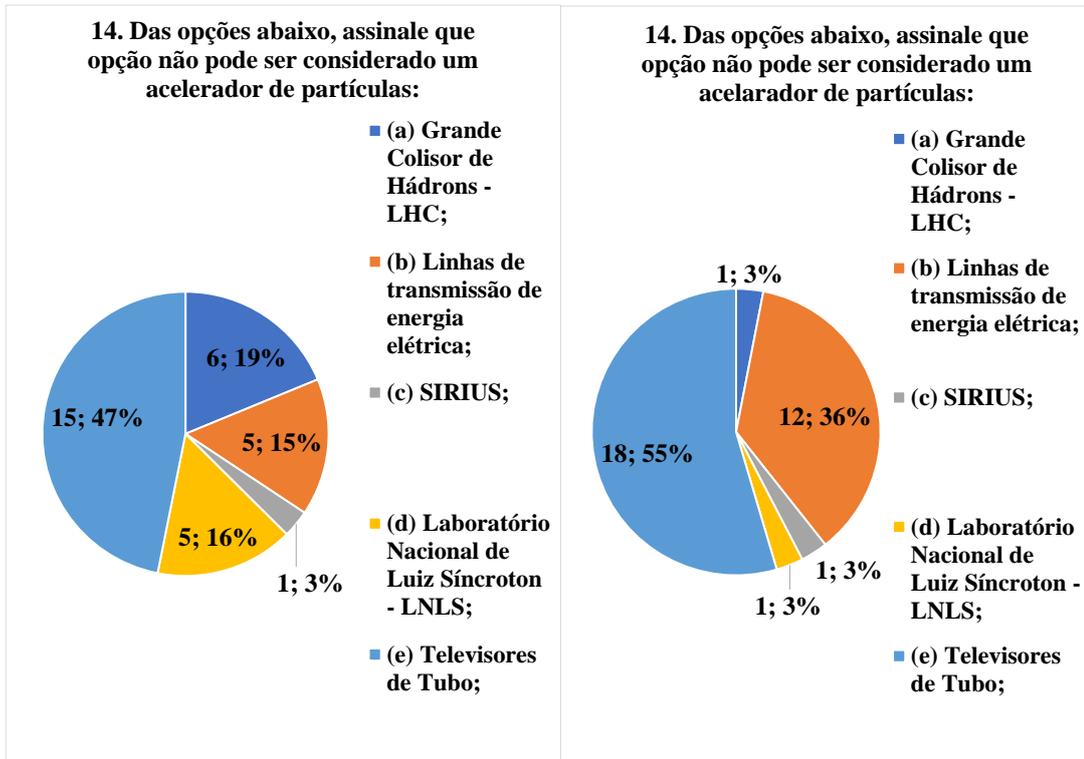
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 13 – PERGUNTA 9 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



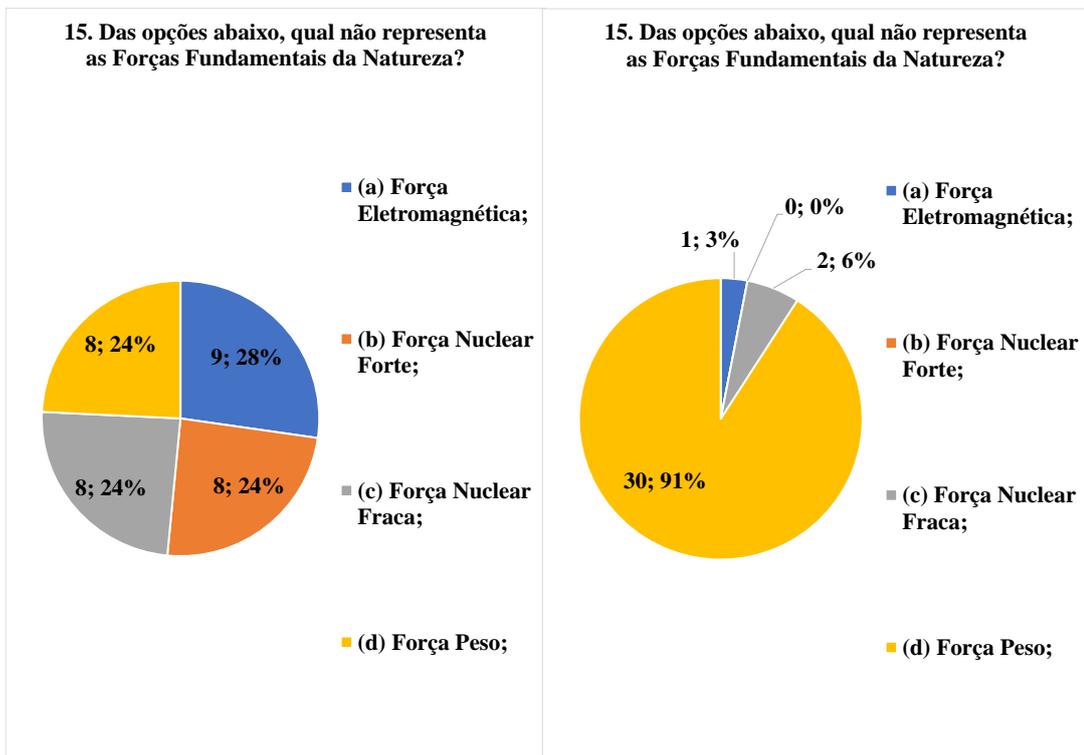
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 14 – PERGUNTA 14 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 15 – PERGUNTA 15 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

A relação percentual para a pergunta quatro mostra um avanço nas respostas dos alunos após a aplicação da oficina, já que previamente apenas seis alunos responderam de forma correta a questão, enquanto que, ao final quatorze alunos responderam de forma satisfatória. Entretanto, a grande maioria acabou não acertando a resposta ao finalizar a oficina. Isso pode estar relacionado ao fato de que, em um primeiro momento, esse conceito pode ser abstrato na visão dos alunos, já que, não é nada trivial compreender que, segundo uma Teoria, a matéria como nós conhecemos hoje poderia não existir.

Outra questão em destaque é a de número nove "Os Prótons, do que são feitos?"(FIGURA 13) também se trata de uma pergunta elaborada a partir do que iria se trabalhar durante a oficina. Atualmente se conhece a composição dos prótons que são constituídos pelos *Quarks Up* e *Down* presentes na Tabela do MP. Em especial, essa pergunta teve um resultado muito satisfatório, já que terminadas as atividades da oficina e realizada a aplicação do questionário final todos os participantes responderam a questão de forma satisfatória, acertando-a. Certamente, o uso do modelo didático (FIGURA 9) e a construção da Tabela do MP contribuíram para alcançar esse resultado satisfatório em um conceito da teoria tão importante.

O uso de um modelo didático ilustrando a colisão dos prótons e mostrando a estrutura interna de um deles (FIGURA 9), certamente facilitou a compreensão da estrutura interna de um próton. Já que os alunos puderam assimilar o conceito com a visualização do modelo.

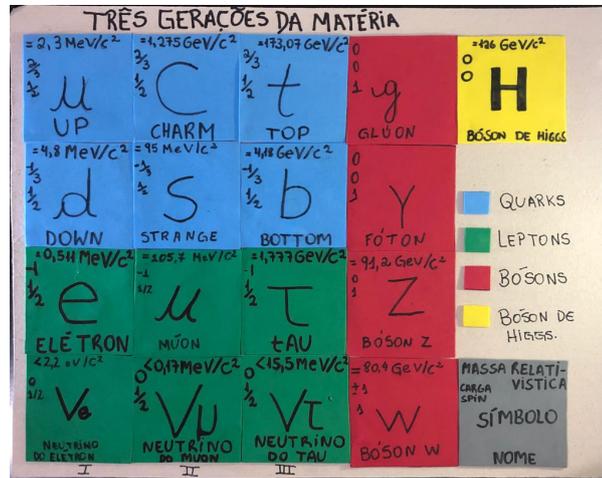
A pergunta de número quatorze, apresentada na FIGURA 14, está baseada no tema dos aceleradores de partículas, que entre as alternativas estão alguns laboratórios que de fato são aceleradores de partículas como o LNLS, o SIRIUS e o LHC. Durante a oficina, foi citado aos alunos que, as televisões antigas, de tubo, podem ser consideradas aceleradores de partículas, resguardando as devidas proporções, pois, o funcionamento de um televisor como esse ocorre a partir da emissões de elétrons para a tela, formando a imagem desejada. Entretanto, os resultados obtidos para essa questão não foram satisfatórios, uma grande parcela dos participantes não conseguiu relacionar os televisores com a tecnologia existente em um acelerador de partícula real.

Um dos grandes destaques do questionário foi a pergunta de número quinze (FIGURA 15), inicialmente apenas quatro alunos responderam de forma correta a questão e ao final vinte e nove acertaram. Esta é uma pergunta muito importante e o resultado ainda mais, já que as partículas mediadoras que aparecem na Tabela do MP, os *Bósons* é que são os responsáveis pelas Forças Fundamentais da Natureza, como por exemplo, o *Fóton* é responsável pela Força Eletromagnética. Conseguir fazer com que a grande maioria entendesse esse conceito é de suma importância na compreensão desse conteúdo, como também para outros temas da FMC.

Durante as aplicações, foi realizada a construção da Tabela do MP onde os participantes desenvolveram suas próprias tabelas. Essa atividade possibilitou uma aproximação do conteúdo com os participantes, pois, durante a execução da atividade muitas perguntas surgiram a partir do Modelo Apresentado, como por exemplo, muitos perguntavam sobre as características de

cada partícula, como o que significava a massa relativística e o spin. Abaixo segue alguns dos modelos didáticos construídos pelos alunos:

FIGURA 16 – MODELO DIDÁTICO ELABORADO PELOS PARTICIPANTES - EXEMPLO 1



FONTE: Elaborado pelos Participantes (2019)

FIGURA 17 – MODELO DIDÁTICO ELABORADO PELOS PARTICIPANTES - EXEMPLO 2



FONTE: Elaborado pelos Participantes (2019)

5.3 TRADUÇÃO DO MANUAL PASCO AP-8210A

Devido a grande quantidade de páginas que compõem o manual do Conjunto AP-8210A não é possível deixá-lo na íntegra nesta seção. Entretanto, o desenvolvimento desta tradução está disponível no APÊNDICE 04 deste trabalho. Essa versão ficará a disposição no Laboratório de Física para que possa contribuir com possíveis novos trabalhos utilizando do Experimento da Gota de Óleo e do manual.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Física como ciência se mostra ainda muito dinâmica, principalmente se tratando da Física Moderna e Contemporânea, pois inúmeras novas pesquisas vêm sendo desenvolvidas em diversos ramos em que a Física ainda pode contribuir. Entretanto, esse cenário não é o mesmo, se tratando do Ensino de Física, ainda nas escolas de hoje se ensina conceitos físicos de 200 - 300 anos atrás. O que não é um problema, entretanto é necessário também tratar de conceitos modernos da Física. Existe uma defasagem muito grande em termos de Física como ciência e Física como componente curricular.

O Ensino de Física hoje, está estagnado em termos de conteúdo. Ensina-se nas escolas, por exemplo, a Mecânica de Newton, a Termodinâmica e a Óptica Geométrica. Claro que não há demérito algum em ensinar conceitos tão importantes como os citados da Física Clássica que contribuem em muito para a formação científica dos alunos. Porém, a maioria das tecnologias que fazemos uso diariamente já provém de desenvolvimentos tecnológicos que são fruto de pesquisas e de trabalhos acadêmicos já da Física Moderna e Contemporânea. Assim, é razoável dizer que muitos destes novos conceitos estão presentes no cotidiano dos alunos e isso pode apresentar grandes potencialidades para o Ensino de Física a partir da inserção de Tópicos de Física Moderna e Contemporânea.

Entretanto, não é tão simples inseri-la em uma componente curricular que já é bastante sobrecarregada. Diante disso, a proposta do trabalho, as oficinas, surge como uma opção, para ao menos apresentar alguns temas básicos da Física Moderna partindo de um planejamento com atividades práticas e que principalmente insiram os participantes no contexto correto para que se tenha uma aprendizagem significativa. A viabilidade de uma atividade como essa se dá principalmente a partir da utilização de recursos de baixo custo. Desse modo, se tratando em Física de Partículas, o modelo da câmara de nuvens surge como um excelente experimento visual que durante a aplicação atraiu muito a atenção dos alunos.

O *feedback* dos participantes sobre a Oficina foi muito positivo, já que no questionário final (APÊNDICE 02) os mesmos poderiam deixar sua opinião sobre o que viram, deixar alguma sugestão ou crítica para melhorar a oficina. De modo geral, houve vários elogios ao trabalho realizado, podendo destacar aqui a resposta de um aluno: "*O professor traz tarefas bem dinâmicas para os alunos, o que torna a temática mais legal. Ele procura várias maneiras de ensinar, o que torna a aprendizagem melhor, a Oficina foi eficiente e esclarecedora, podemos aprender mais sobre o mundo onde vivemos*".

O trabalho utilizando o Experimento da Gota de Óleo foi bastante satisfatório, pois, serviu como um instrumento didático durante a oficina, proporcionando uma discussão interessante sobre de onde surgiu um valor matemático muito utilizado pelos participantes durante as aulas de Física no EM, que é o valor da carga do elétron. O resgate histórico e experimental do Experimento de Millikan pode contextualizar o lado científico dessa descoberta histórica durante a oficina.

Apesar da grande quantidade de atividades elaboradas para a oficina, buscou-se organizá-las de tal maneira que pudessem contextualizar e/ou permitir a visualização da Física de Partículas pelos alunos do EM. Relacionando as atividades com o cotidiano dos alunos.

Espera-se que os resultados obtidos em laboratório, bem como a tradução do Manual e o desenvolvimento de uma metodologia possam contribuir em atividades futuras com o experimento aqui no Campus Palotina, da Universidade Federal do Paraná, já que, o que foi realizado neste trabalho estará disponível no Laboratório de Física para uso da comunidade acadêmica.

REFERÊNCIAS

- ABDALLA, M. C. B. Sobre o discreto charme das partículas elementares. **Física na Escola**, v. 6, São Paulo, n. 1, p. 131–148, 2005. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.
- ANJOS, R. de Cássia dos. **Propagação de raios cósmicos extragaláticos**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO - Instituto de Física de São Carlos, 2014. Citado na página 16.
- AP-8210A, P. **Millikan Oil Drop Apparatus**: Instruction manual. [S.l.], 2019. 28 p. Disponível em: <https://www.pasco.com/file_downloads/Downloads_Manuals/Millikan-Oil-Drop-Manual-AP-8210A.pdf>. Acesso em: 07 de Junho de 2019. Citado na página 26.
- BISHOP, I.; XIAN, S.; FELLER, S. Robert a. millikan and the oil drop experiment. **The Physics Teacher** — 57, Cedar Rapids, p. 442–445, 2019. Citado na página 20.
- BONETTI, V. J. **Partículas Elementares e Interações**: Uma proposta de mergulho no ensino e aprendizagem através de uma sequência didática interativa. 107 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Instituto de Matemática, Estatística e Física da FURG, Rio Grande do Sul, 2015. Citado na página 12.
- BORGES, M. D. **Física Moderna e Contemporânea no Ensino Médio**: uma experiência didática com a teoria da relatividade restrita. 140 f. Dissertação (Curso de Pós-Graduação em Física) — Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre - 2005, 2005. Citado na página 12.
- BRASIL. **Orientações Educacionais Complementares aos Parâmetros Curriculares Nacionais**. [S.l.], 2000. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/seb/arquivos/pdf/CienciasNatureza.pdf>>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 19.
- BROCKINGTON, G.; PIETROCOLA, M. **Investigações em Ensino de Ciências** — Serão as Regras da Transposição Didática Aplicáveis aos Conceitos de Física Moderna?, São Paulo - SP, n. 10, p. 387–404, 2005. Citado na página 12.
- BUTTERWORTH, J. **What's the smallest thing in the universe?** Vídeo do Youtube disponível em <https://youtu.be/ehHoOYqATU>. 2013. Citado na página 35.
- DUARTE, D. **LHC - O Grande Colisor de Hádrons (LEGENDADO)**. Vídeo do Youtube disponível em <https://youtu.be/57NwycecPzo>. 2015. Citado na página 35.
- FLORES, A.; PIERINI, A. C.; PAVLACK, B.; BÖER, E.; KENDERLI, P.; ABÉ, S. **Software WxMaxima**. 1. ed. Santa Maria - RS: Universidade Federal de Santa Maria, 2013. Disponível em: <http://w3.ufsm.br/petmatematica/images/minicursos/Apostilas/apostila_software_wxmaxima.pdf>. Citado na página 30.
- GOMES, R. R. **O MODELO PADRÃO NO ENSINO MÉDIO**: Um tratamento elementar. 152 f. Dissertação (Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física) — Universidade Federal de São Carlos, São Paulo, 2017. Citado 3 vezes nas páginas 11, 18 e 19.

JUNIOR, P. D. C. **INOVAÇÕES CURRICULARES EM ENSINO DE FÍSICA MODERNA: INVESTIGANDO UMA PARCERIA ENTRE PROFESSORES E CENTRO DE CIÊNCIAS**. Tese (Doutorado) — UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 2014. Citado na página 12.

KRAMES, I. P.; CARDOSO, A. C. B.; P, M. E.; SILVA, F. O.; CAMPOS, H.; SILVA, L. C. d.; C, C. W. V. Organização de oficinas: Estratégias de significação do processo de ensino e aprendizagem. **Revista de Divulgação Interdisciplinar do Núcleo das Licenciaturas**, Itajaí - SC, n. 2, p. 1–7, 2015. Citado na página 21.

LAGANÁ, C. Estudo de raios cósmicos utilizando uma câmara de nuvens de baixo custo. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 33, n. 3, 2011. Citado na página 20.

LIMA, M. c. C. d.; SILVA, M. C. d.; SANTOS, G. V.; PINTO, I. K. L. d. S.; SILVEIRA, A. F. d. A oficina didática numa perspectiva problematizadora: Metodologias alternativas para o ensino de física. **II Congresso Nacional de Educação**, Paraíba, n. 1, p. 2, 2015. Citado na página 21.

MILLIKAN, R. A. **The Electron**. 1. ed. Chicago and London: The University of Chicago Impress, 1917. Disponível em: <<http://www.metaphysicspirit.com/books/The%20Electron.pdf>>. Citado na página 37.

MOREIRA, M. A. Partículas e interações. **Física na Escola**, Porto Alegre, n. 2, p. 10–14, 2004. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol5/Num2/v5n1a03.pdf>>. Citado na página 11.

MOREIRA, M. A. O modelo padrão da física de partículas. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 31, n. 1, 2009. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 18.

MOREIRA, M. A. **O Bóson de Higgs na mídia, na Física e no Ensino da Física**. 28. ed. Porto Alegre: Grupo de Ensino Instituto de Física, 2017. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.

OLIVEIRA, F. F. d.; VIANNA, D. M.; GERBASSI, R. S. A física moderna no ensino médio: o que dizem os professores. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 29, p. 447 – 454, 00 2007. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172007000300016&nrm=iso>. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 12.

OSTERMANN, F. **Textos de apoio ao professor de física**. 12. ed. Porto Alegre: Grupo de Ensino Instituto de Física, 2001. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 16.

OSTERMANN, F. Um pôster para ensinar física de partículas na escola. **Revista Brasileira de Ensino de Física (São Paulo)**, Porto Alegre, n. 1, p. 131–148, 2001. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/handle/10183/116427>>. Citado 3 vezes nas páginas 11, 12 e 13.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. Atualização do currículo de física na escola de nível médio: Um estudo dessa problemática na perspectiva de uma experiência em sala de aula e da formação inicial de professores. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** — VII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Porto Alegre - RS, n. 2, p. 135–151, 2001. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/85026/000306047.pdf?sequence=1>>. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 19.

PARANÁ. **Diretrizes Curriculares da Educação Básica**. Curitiba, 2008. Disponível em: <http://www.educadores.diaadia.pr.gov.br/arquivos/File/diretrizes/dce_fis.pdf>. Citado na página 22.

PAVIANI, N. M. S.; FONTANA, N. M. Oficinas pedagógicas: Relato de uma experiência. **Conjectura**, p. 77–88, 08 2009. Disponível em: <<http://abenfisio.com.br/wp-content/uploads/2016/05/Oficinas-PedagC3B3gicas.pdf>>. Citado na página 21.

PEREIRA, A. P.; OSTERMANN, F. **Investigações em Ensino de Ciências** — VI Encontro Nacional de Pesquisa em Educação em Ciências, Florianópolis, 2007, title=Sobre o Ensino de Física Moderna e Contemporânea: Uma revisão da Produção Acadêmica Recente,, Porto Alegre - RS, n. 14, p. 393–420, 2009. Citado na página 12.

PINHEIRO, L. A câmara de nuvens: uma abordagem integrada entre a física clássica e a física moderna. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**, v. 32, n. 2, p. 517–528, 2015. ISSN 2175-7941. Disponível em: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2015v32n2p517>>. Citado na página 21.

RODRIGUES, E.; BEZERRA, D.; SOUZA, C. Análise das propostas de inserção de física moderna e contemporânea e sua viabilidade de aplicação no ensino médio do sertão central pernambucano. **Revista Ciência e Desenvolvimento**, 01 2018. Citado na página 14.

SIQUEIRA, M. R. D. P. **Do Visível ao Indivisível**: Uma proposta de física de partículas elementares para o ensino médio. 257 f. Dissertação (Instituto de Física e Faculdade de Educação) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Citado na página 18.

SOUZA, M. A. M.; NASCIMENTO, A. C. S.; COSTA, D. F.; FERREIRA, O. Jogo de física de partículas: Descobrimos o bóson de higgs. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 41, 00 2018. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172019000200502&nrm=iso>. Citado 3 vezes nas páginas 11, 18 e 19.

TAVARES, R. Aprendizagem significativa e o ensino de ciências. **Ciências Cognição**, v. 13, n. 1, 2008. ISSN 1806-5821. Disponível em: <<http://www.cienciasecognicao.org/revista/index.php/cec/article/view/687>>. Citado na página 19.

TERRAZZAN, E. A. **Caderno Catarinense de Ensino de Física** — V Reunião Latino Americana de Educação em Física, Porto Alegre (Gramado), title=A inserção da Física Moderna e Contemporânea no Ensino de Física na Escola de 2 Grau,, Santa Maria - RS, n. 12, p. 209–214, 1992. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 13.

VEISSID, N.; PEREIRA, L. Uma abordagem diferente na estatística do experimento Millikan. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, scielo, v. 36, p. 1 – 6, 03 2014. ISSN 1806-1117. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1806-11172014000100002&nrm=iso>. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 23.

VIEIRA, E.; VALQUIND, L. **Oficinas de Ensino: O quê? Por quê? Como?** 4. ed. Porto Alegre: EDIPUCRS - PUC, 2002. Citado na página 21.

WHYNTIE, T. O princípio do universo, para principiantes. Vídeo do Youtube disponível em <https://www.youtube.com/watch?v=DmUiCweDic4t=8s>. 2013. Citado na página 33.

A APÊNDICE 01 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO

Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina			
Estudante:		Número:	Turma:
Professor: Rodrigo Sasse		Oficina de Física	

Questionário Prévio

- Você conhece a Teoria do Modelo Padrão?**
 - Sim;
 - Não;
- Você conhece/sabe o que é a antimatéria?**
 - Sim;
 - Não;
- Você já ouviu falar do Big Bang? Teoria que busca explicar o início do Universo?**
 - Sim;
 - Não;
- Segundos após o Big Bang, há bilhões de anos, existiam prótons, elétrons e nêutrons?**
 - Sim, e deu-se início a formação de galáxias e estrelas como conhecemos hoje;
 - Sim, e já existiam estrelas e planetas;
 - Não, apenas existiam partículas elementares;
 - Não se sabe o que existia nesse período;
 - Não sei;
- Sobre o Big Bang, responda se é Verdadeiro ou Falso: "O Big Bang se iniciou a partir da explosão de um ponto infinitamente pequeno e quente".**
 - Verdadeiro;
 - Falso;
- O que são partículas elementares?**
 - Átomos e Moléculas;
 - Prótons e Nêutrons;
 - Quarks, Léptons e Bósons;
 - Não existem partículas elementares;
 - Não sei;
- Do que são compostos os objetos que nos rodeiam?**
 - De Átomos e Moléculas;
 - De Forças misteriosas da natureza;
 - A ciência ainda não sabe a resposta;
 - Não sei;
- Os átomos, do que são feitos?**
 - A ciência ainda não sabe a resposta;
 - Prótons, Nêutrons e Elétrons;
 - De ligações entre moléculas;
 - Não sei;
- Os prótons, do que são feitos?**
 - São constituídos por Quarks, 2 Quark UP e 1 Quark Down;
 - De átomos, como Hidrogênio, Ferro e Oxigênio;
 - Os prótons não possuem estrutura interna;
 - A ciência ainda não sabe a resposta;
 - Não sei;
- Sobre a afirmação a seguir responda se é Verdadeiro ou Falso: "Os Elétrons são partículas elementares e possuem uma antipartícula chamada pósitron".**
 - Verdadeiro;
 - Falso;

11. Ainda sobre o Elétron, responda se é Verdadeiro ou Falso: “O Elétron é uma partícula que possui estrutura interna”.

- (a) Verdadeiro;
- (b) Falso;

12. Você conhece/sabe o que são Aceleradores de Partículas?

- (a) Sim;
- (b) Não;

13. Sobre o que você sabe sobre Aceleradores de Partículas, responda:

- (a) Não existem aceleradores de partículas;
- (b) São laboratórios científicos que ainda vão existir;
- (c) São laboratórios que buscam simular as condições do Universo logo após o Big Bang;
- (d) Não sei;

14. Das opções abaixo, assinale que opção não pode ser considerado um acelerador de partícula:

- (a) Grande Colisor de Hádrons - LHC;
- (b) Linhas de transmissão de energia elétrica;
- (c) SIRIUS;
- (d) Laboratório Nacional de Luz Síncroton – LNLS;
- (e) Televisores de Tubo;

15. Das opções abaixo, qual não representa as Forças Fundamentais da Natureza?

- (a) Força Gravitacional;
- (b) Força Eletromagnética;
- (c) Força Nuclear Forte;
- (d) Força Nuclear Fraca;
- (e) Força Peso;

B APÊNDICE 02 - QUESTIONÁRIO FINAL

Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina			
Estudante:		Número:	Turma:
Professor: Rodrigo Sasse		Oficina de Física	

Questionário Final

- Você conhece a Teoria do Modelo Padrão?**
 - Sim;
 - Não;
- Você conhece/sabe o que é a antimatéria?**
 - Sim;
 - Não;
- Você já ouviu falar do Big Bang? Teoria que busca explicar o início do Universo?**
 - Sim;
 - Não;
- Segundos após o Big Bang, há bilhões de anos, existiam prótons, elétrons e nêutrons?**
 - Sim, e deu-se início a formação de galáxias e estrelas como conhecemos hoje;
 - Sim, e já existiam estrelas e planetas;
 - Não, apenas existiam partículas elementares;
 - Não se sabe o que existia nesse período;
 - Não sei;
- Sobre o Big Bang, responda se é Verdadeiro ou Falso: “O Big Bang se iniciou a partir da explosão de um ponto infinitamente pequeno e quente”.**
 - Verdadeiro;
 - Falso;
- O que são partículas elementares?**
 - Átomos e Moléculas;
 - Prótons e Nêutrons;
 - Quarks, Léptons e Bósons;
 - Não existem partículas elementares;
 - Não sei;
- Do que são compostos os objetos que nos rodeiam?**
 - De Átomos e Moléculas;
 - De Forças misteriosas da natureza;
 - A ciência ainda não sabe a resposta;
 - Não sei;
- Os átomos, do que são feitos?**
 - A ciência ainda não sabe a resposta;
 - Prótons, Nêutrons e Elétrons;
 - De ligações entre moléculas;
 - Não sei;
- Os prótons, do que são feitos?**
 - São constituídos por Quarks, 2 Quark UP e 1 Quark Down;
 - De átomos, como Hidrogênio, Ferro e Oxigênio;
 - Os prótons não possuem estrutura interna;
 - A ciência ainda não sabe a resposta;
 - Não sei;
- Sobre a afirmação a seguir responda se é Verdadeiro ou Falso: “Os Elétrons são partículas elementares e possuem uma antipartícula chamada pósitron”.**
 - Verdadeiro;
 - Falso;

11. Ainda sobre o Elétron, responda se é Verdadeiro ou Falso: “O Elétron é uma partícula que possui estrutura interna”.

- (a) Verdadeiro;
- (b) Falso;

12. Você conhece/sabe o que são Aceleradores de Partículas?

- (a) Sim;
- (b) Não;

13. Sobre o que você sabe sobre Aceleradores de Partículas, responda:

- (a) Não existem aceleradores de partículas;
- (b) São laboratórios científicos que ainda vão existir;
- (c) São laboratórios que buscam simular as condições do Universo logo após o Big Bang;
- (d) Não sei;

14. Das opções abaixo, assinale que opção não pode ser considerado um acelerador de partícula:

- (a) Grande Colisor de Hádrons - LHC;
- (b) Linhas de transmissão de energia elétrica;
- (c) SIRIUS;
- (d) Laboratório Nacional de Luz Síncroton – LNLS;
- (e) Televisores de Tubo;

15. Das opções abaixo, qual não representa as Forças Fundamentais da Natureza?

- (a) Força Gravitacional;
- (b) Força Eletromagnética;
- (c) Força Nuclear Forte;
- (d) Força Nuclear Fraca;
- (e) Força Peso;

Avalie a oficina, assinale a partir das opções abaixo:

1. Você acha que o tema exposto durante a Oficina será útil para você no seu dia-a-dia?

- (a) Sim;
- (b) Não;

2. De 0 a 5, sendo 0 ruim e 5 Excelente, que nota você daria para a Oficina?

- (a) 0 – Ruim;
- (b) 1 – Insuficiente;
- (c) 2 – Regular;
- (d) 3 – Bom;
- (e) 4 – Ótimo;
- (f) 5 – Excelente;

3. Sobre a abordagem do professor, avalie, sendo 0 ruim e 5 Excelente:

3.1 – Vocabulário acessível (Você compreendeu o conteúdo):

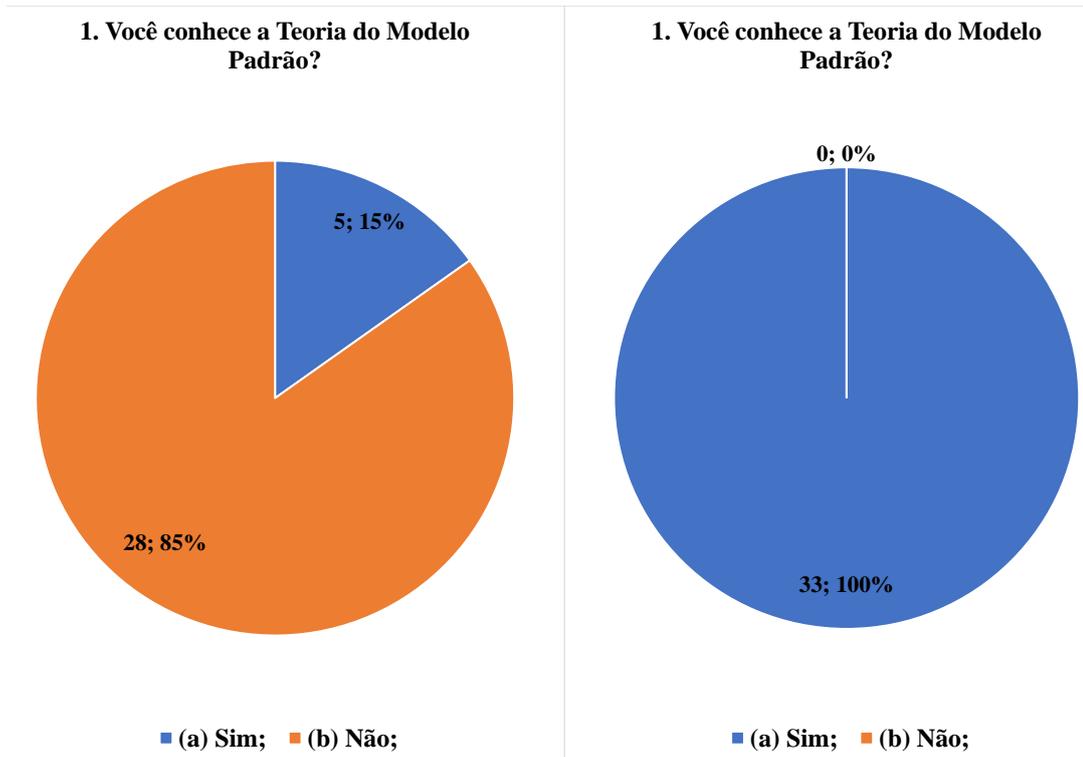
- (a) 0 – Ruim;
- (b) 1 – Insuficiente;
- (c) 2 – Regular;
- (d) 3 – Bom;
- (e) 4 – Ótimo;
- (f) 5 – Excelente;

3.2 – Buscou maneiras de facilitar o entendimento do tema

- (a) 0 – Ruim;
- (b) 1 – Insuficiente;
- (c) 2 – Regular;
- (d) 3 – Bom;
- (e) 4 – Ótimo;
- (f) 5 – Excelente;

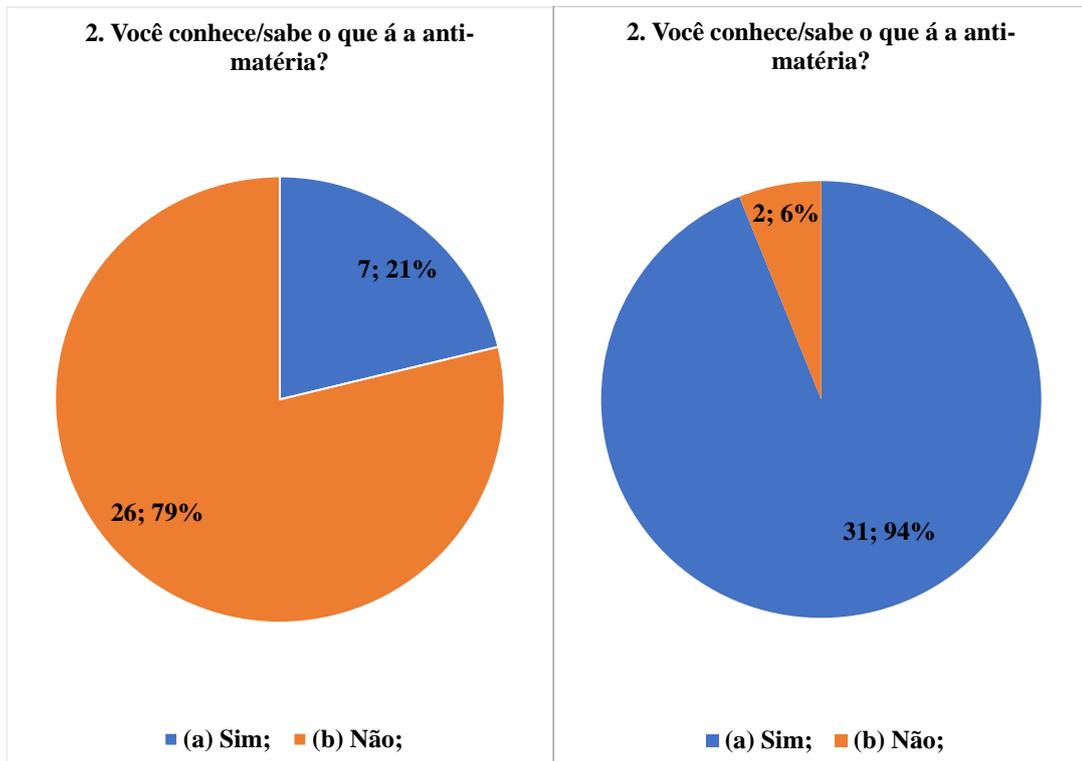
C APÊNDICE 03 - RESPOSTAS DOS PARTICIPANTES NAS DEMAIS QUESTÕES EM CADA QUESTIONÁRIO

FIGURA 18 – PERGUNTA 01 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



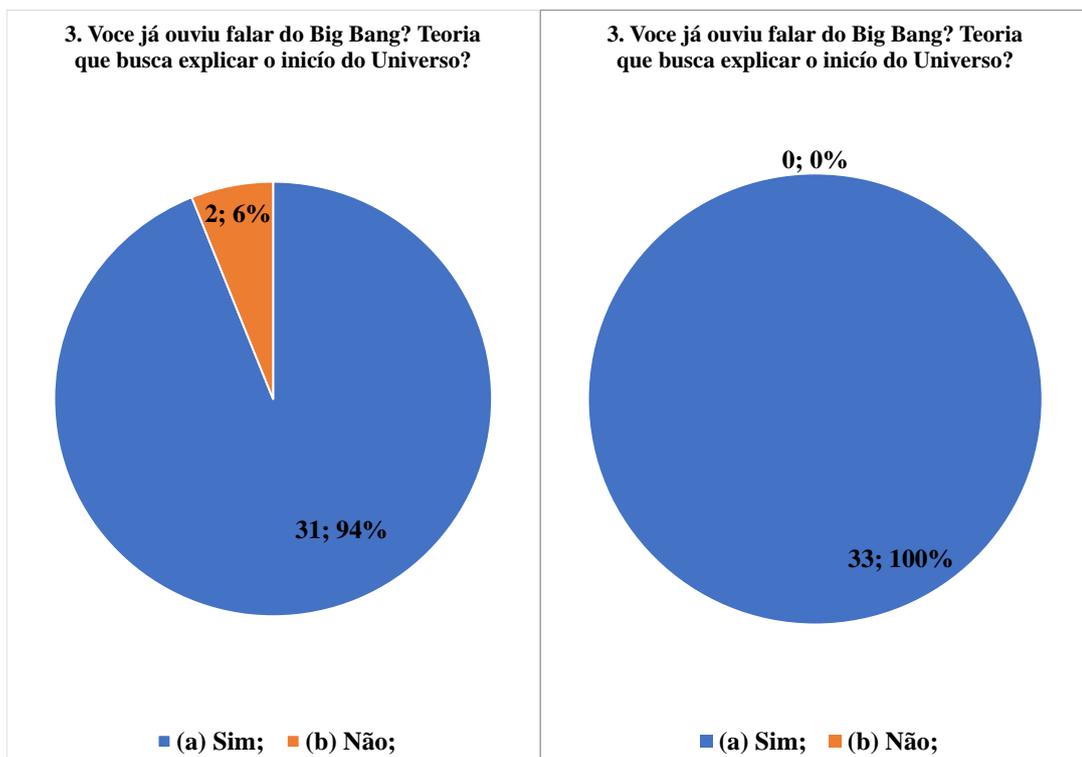
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 19 – PERGUNTA 02 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



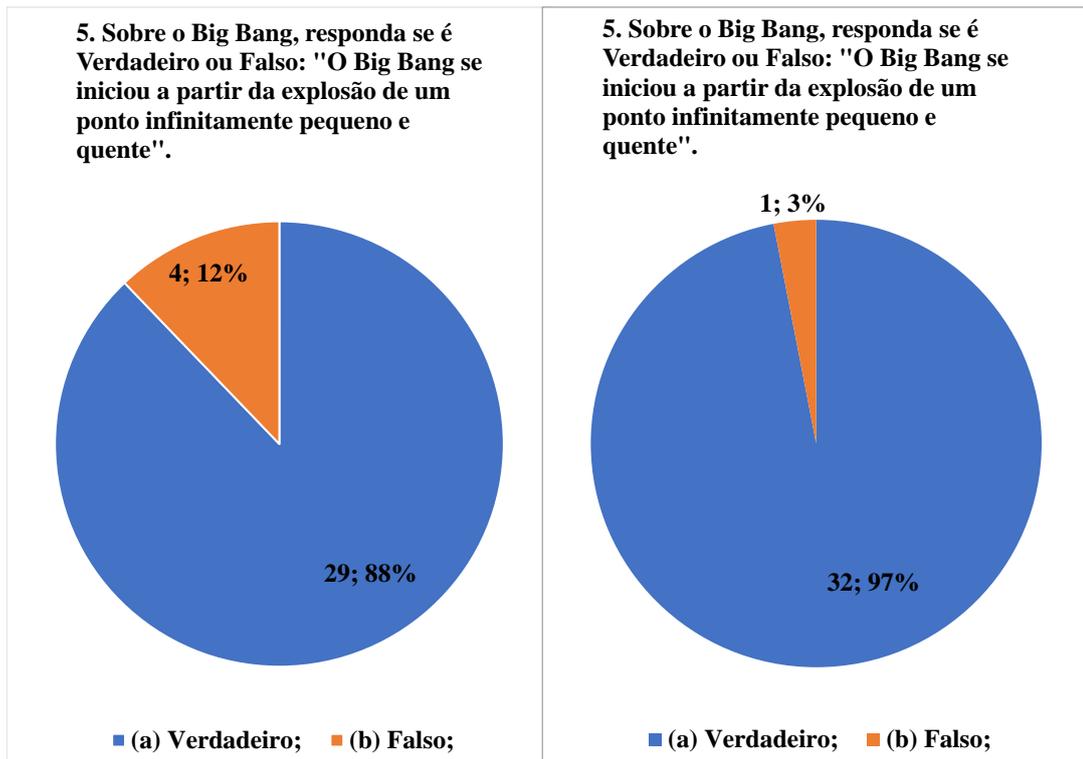
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 20 – PERGUNTA 03 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



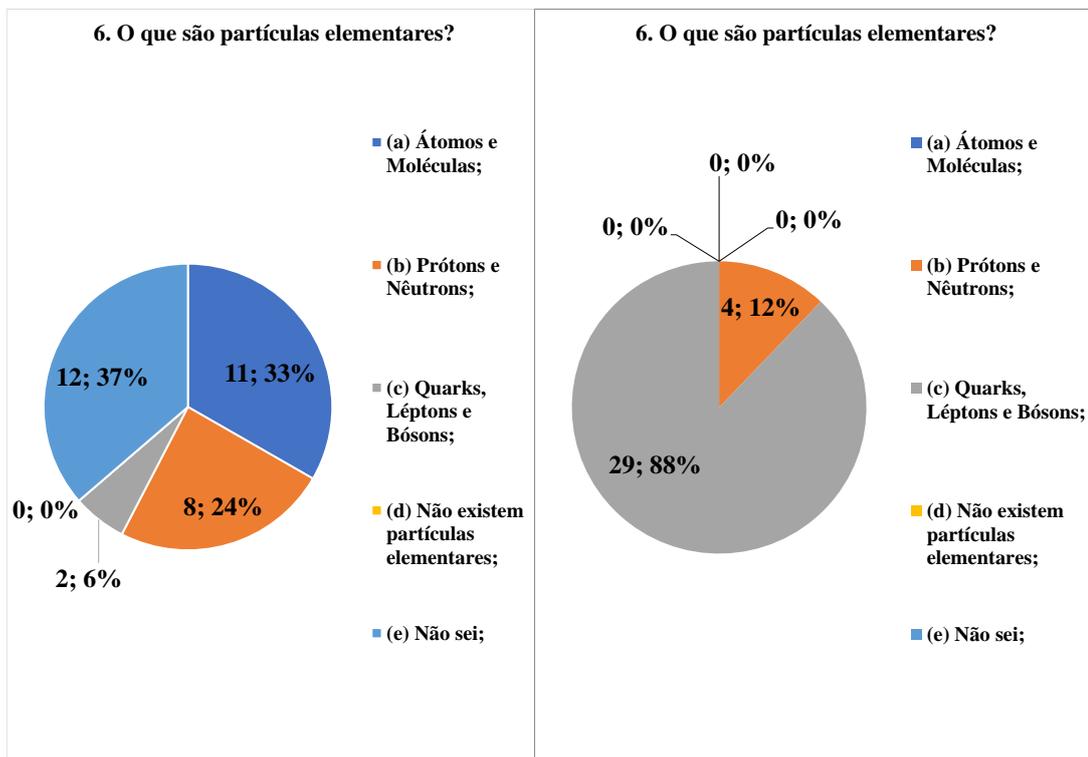
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 21 – PERGUNTA 05 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



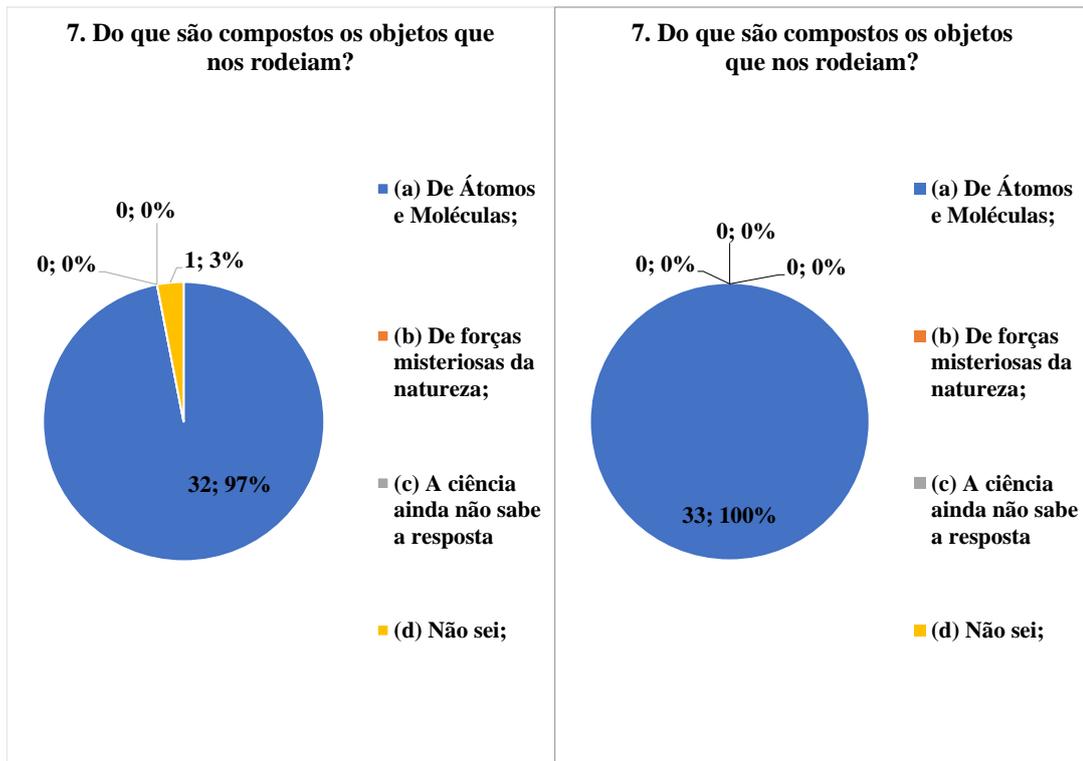
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 22 – PERGUNTA 06 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



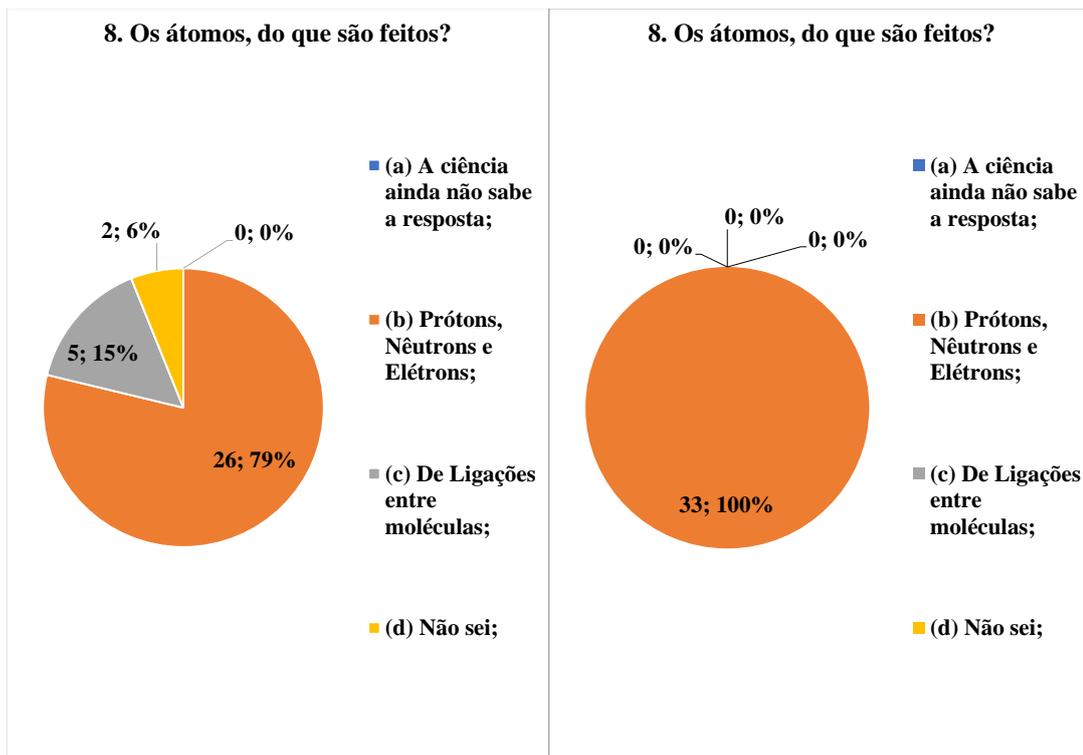
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 23 – PERGUNTA 07 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



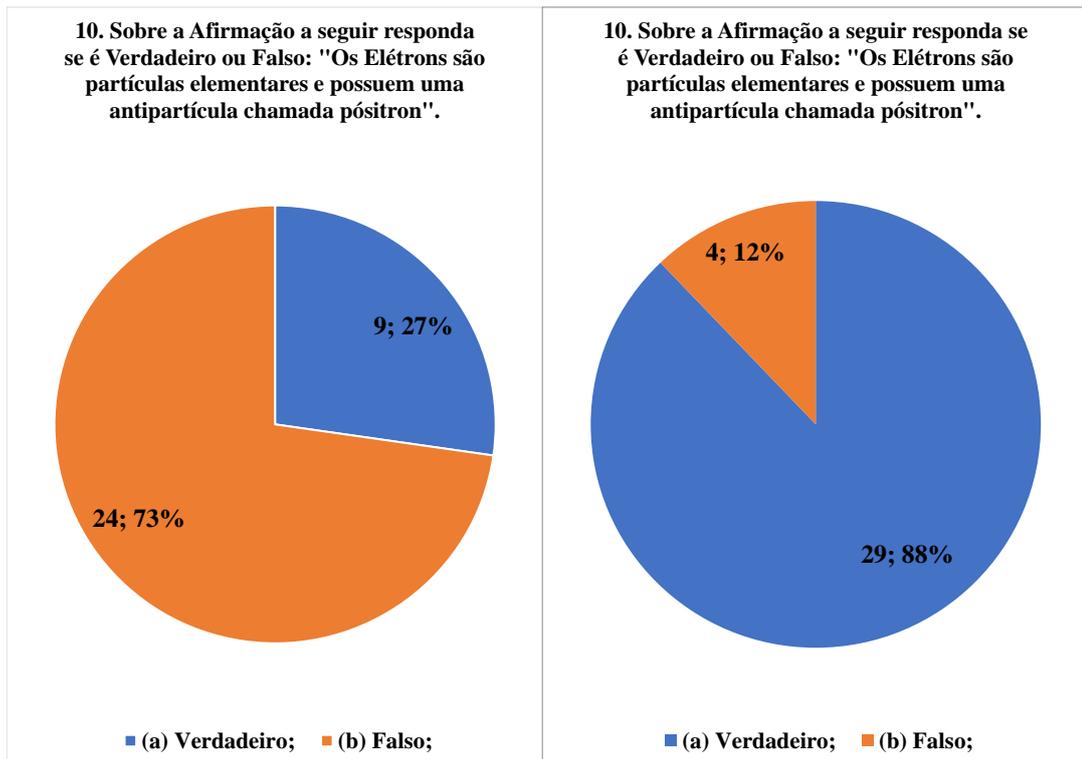
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 24 – PERGUNTA 08 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



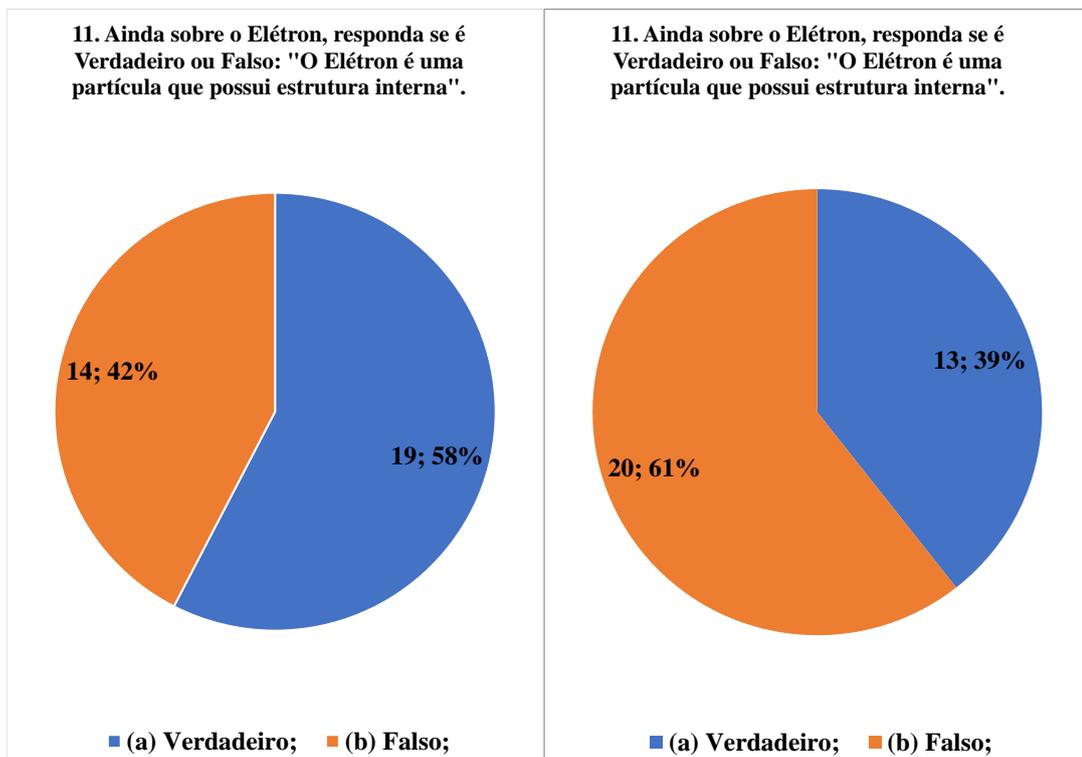
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 25 – PERGUNTA 10 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



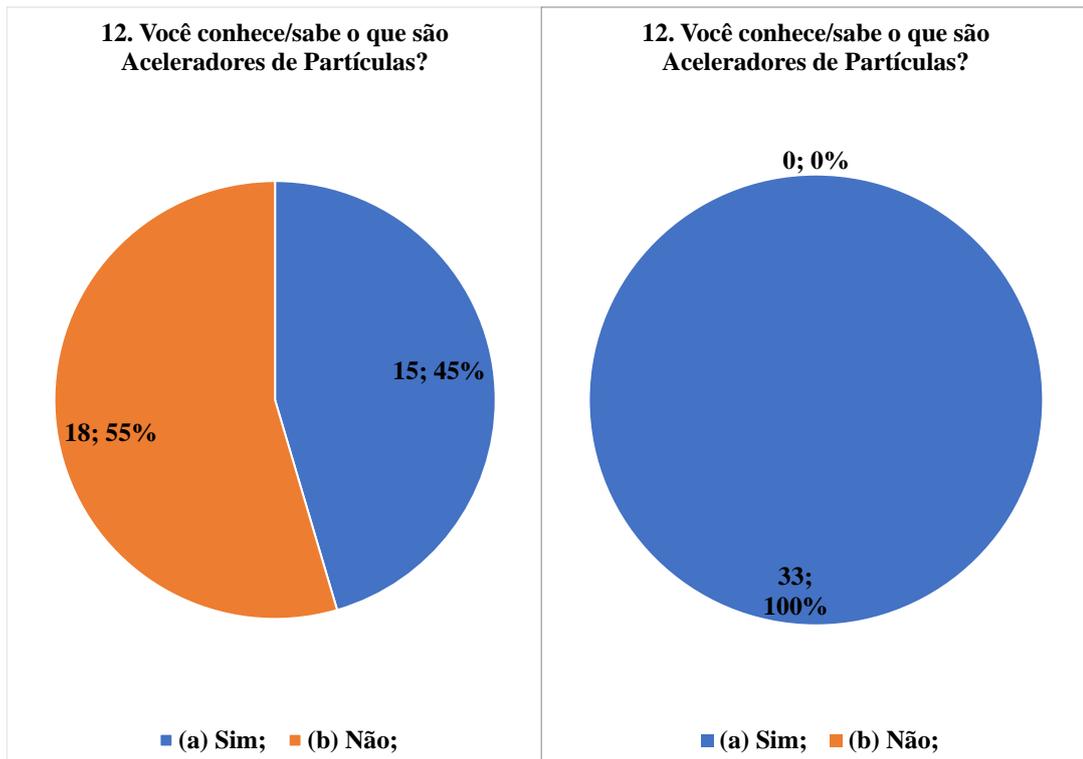
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 26 – PERGUNTA 11 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



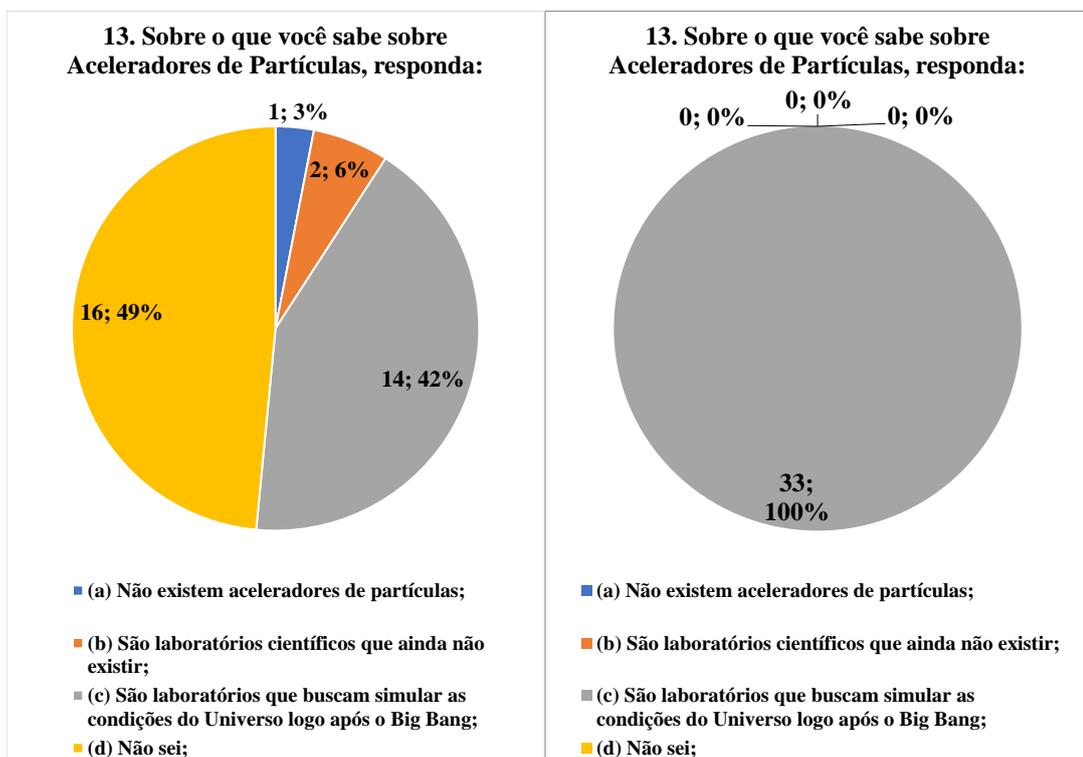
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 27 – PERGUNTA 12 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



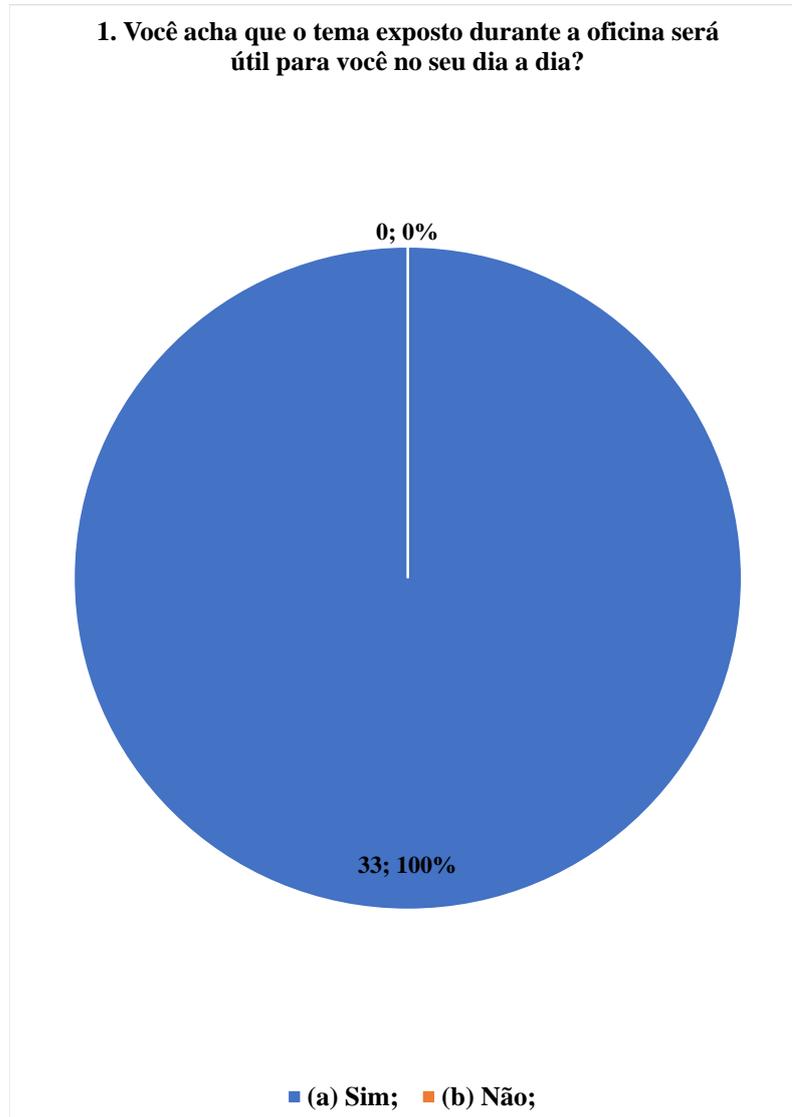
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 28 – PERGUNTA 13 - QUESTIONÁRIO PRÉVIO / QUESTIONÁRIO FINAL



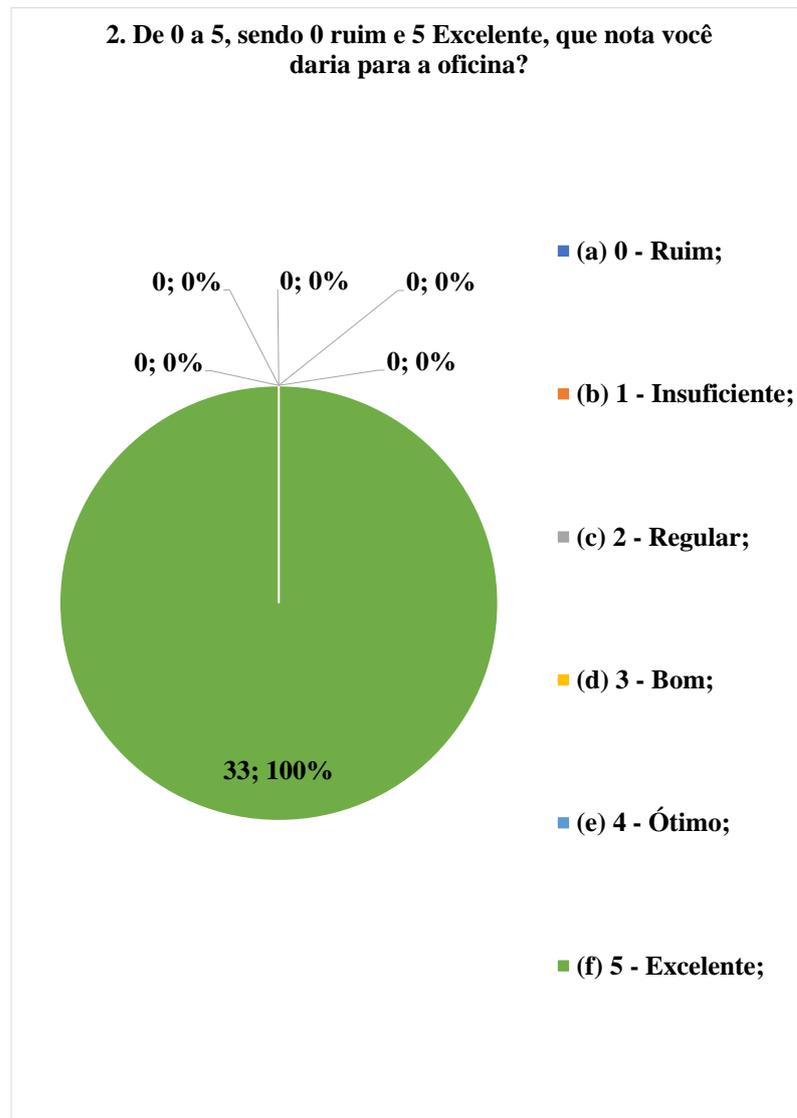
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 29 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 01



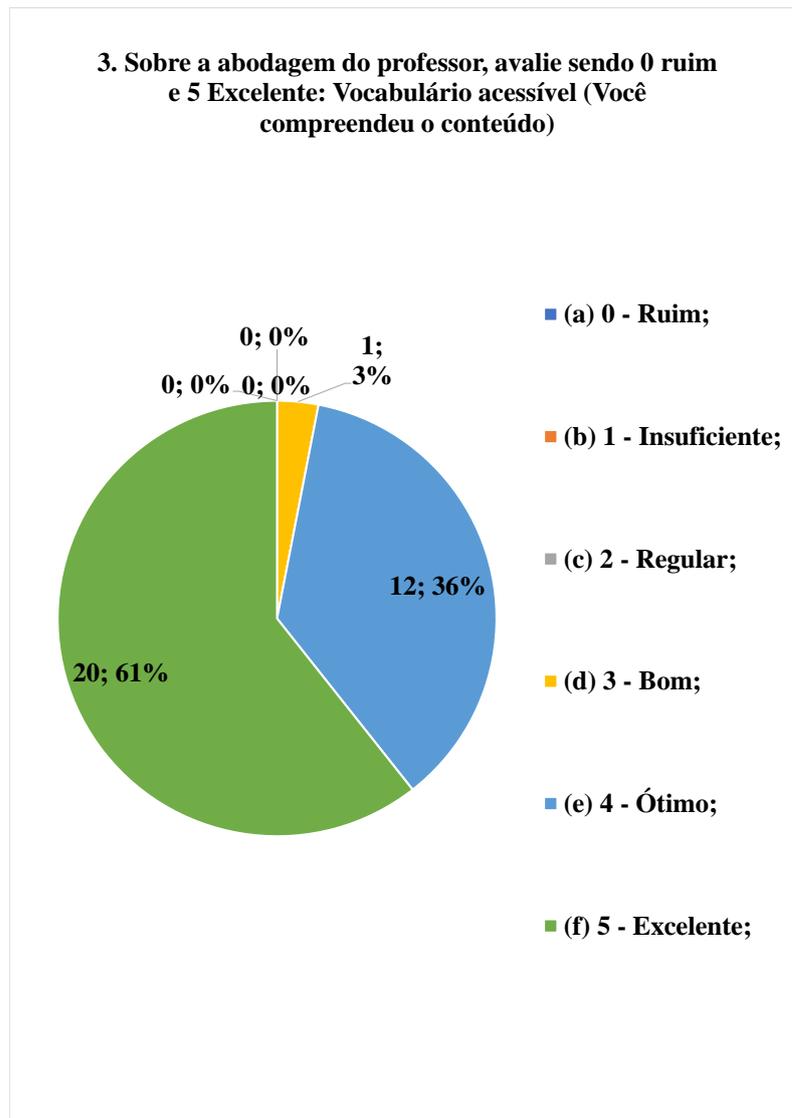
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 30 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 02



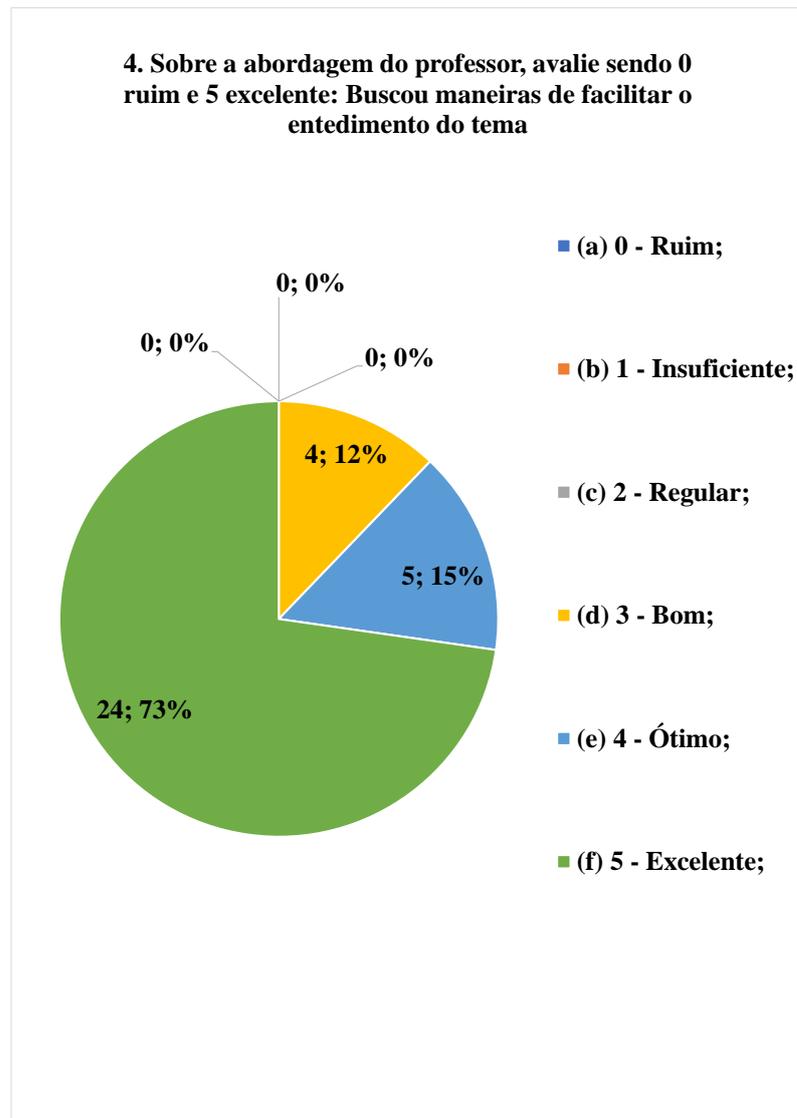
FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 31 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 03



FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

FIGURA 32 – AVALIAÇÃO DA OFICINA - QUESTÃO 04

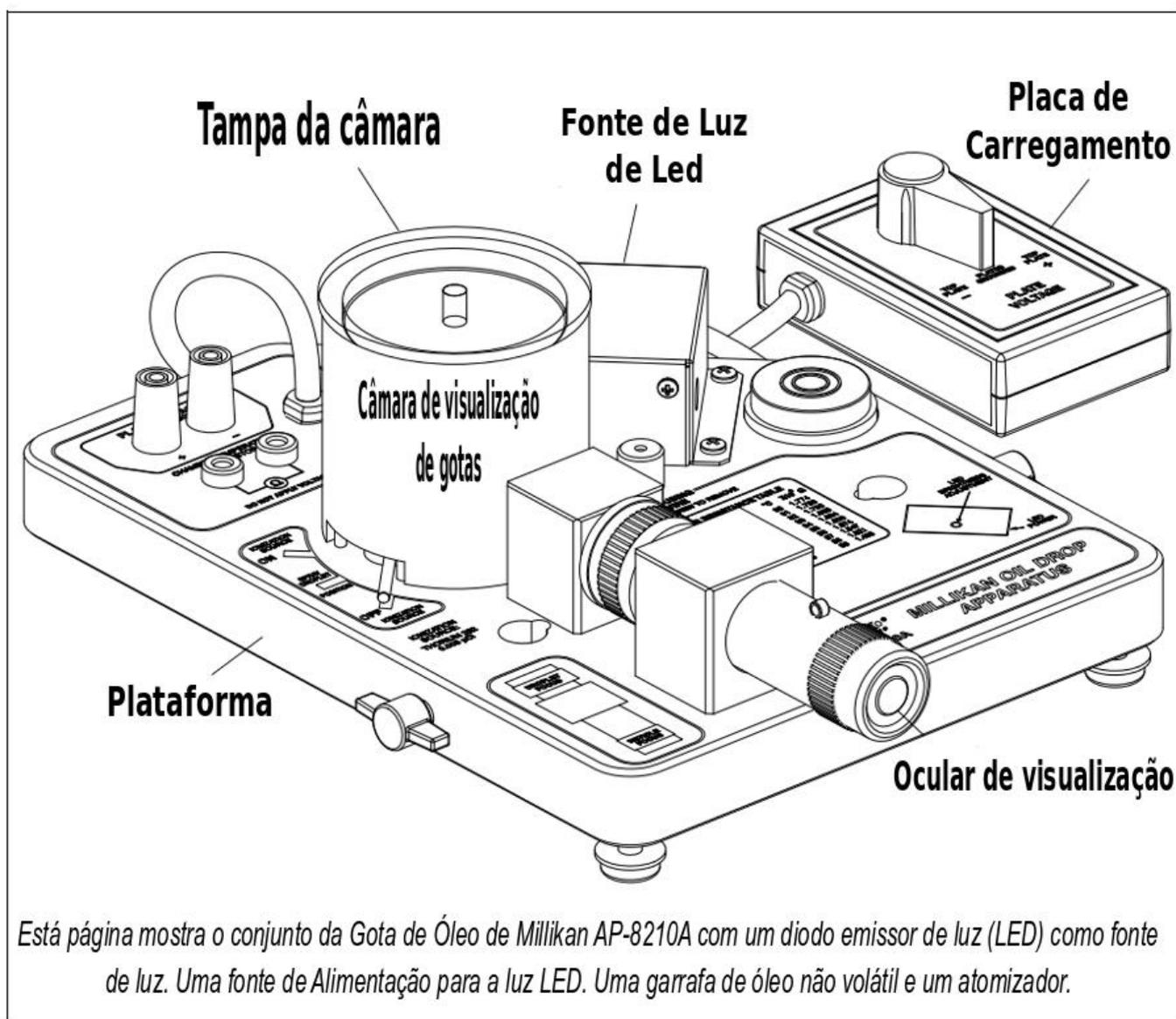


FONTE: Elaborado pelo Autor(2019)

Equipamento da Gota de Óleo de Millikan

AP-8210A

ESSA NÃO É UMA VERSÃO OFICIAL DO MANUAL



ESSA NÃO É UMA VERSÃO OFICIAL DO MANUAL

Sumário

Introdução	68
Equipamento	74
Configuração do Equipamento	78
Alinhando o Sistema Óptico	79
Ajustando e Medindo a Tensão	80
Procedimento Experimental	81
Cálculo da Carga de um Elétron	84
Usando um microscópio de projeção com o Experimento da Gota de Óleo de Millikan	87
Informação Histórica	88
Notas de Manutenção	95
Limpeza	95
Ajustando o retículo vertical e visualizando os alinhamentos da ocular	96
Ajustando o alinhamento do retículo horizontal	96
Retocar a superfície pintada de preto no espaçador de plástico	97
APÊNDICE 01: Viscosidade do ar seco como uma função da temperatura	98
APÊNDICE 02: Tabela de resistência do Termistor	99
Guia do Professor	100
Dados de Amostra	101
Tabela de Resultados	103
Tabela da Análise Final	103
Suporte Técnico	104

Equipamento da Gota de Óleo de Millikan

AP-8210A

ESSA NÃO É UMA VERSÃO OFICIAL DO MANUAL

Introdução

O Equipamento PASCO da Gota de Óleo de Millikan foi desenvolvido para conduzir o experimento da gota de óleo de Millikan, onde a carga elétrica carregada por uma partícula de óleo pode ser calculada medindo-se a força atuante na partícula a partir de um campo elétrico com intensidade conhecida. Embora seja relativamente fácil produzir um campo elétrico, a força exercida por esse campo em uma partícula que carrega apenas um ou vários elétrons em excesso é muito pequena. Por exemplo, um campo de 1000 volts por centímetro (105 volts por metro) exerceria uma força de apenas $1,6 \times 10^{-14}$ Newtons em uma gotícula com apenas um elétron de excesso. Essa é uma força comparável à força gravitacional de uma partícula com massa de 10^{-12} gramas.

O sucesso do Experimento da Gota de Óleo de Millikan depende da capacidade de medir essas forças tão pequenas. O comportamento de pequenas gotas carregadas de óleo, com massa de apenas 10^{-12} (10^{-15} kg) ou menos. Essas gotas são observadas em duas situações: A primeira com apenas a força gravitacional atuando e a segunda com um campo elétrico atuante. A partir das medidas de velocidade de queda e da velocidade de ascensão, com o uso da Lei de Stokes, válida neste caso devido ao baixo número de Reynold, é possível calcular a massa das gotículas de óleo. A observação da velocidade de queda e de ascensão permite o cálculo da força e, portanto, a carga contida da gota de óleo.

Embora esse experimento permita medir a carga total de uma gota de óleo, é apenas através de uma análise de dados obtidos e um certo grau de habilidade experimental que a carga de um único elétron pode ser determinada. Pois, é certo que, ao selecionar gotículas que sobem e descem lentamente, esta haverá um pequeno número de elétrons. Um número dessas quedas deve ser observado e suas devidas cargas devem ser calculadas. Se as cargas das gotículas forem múltiplos integrais de uma certa carga menor, essa é uma boa indicação da natureza atômica da eletricidade. No entanto, uma vez que uma gota diferente for usada para medir a carga, resta a questão de quanto é o efeito da própria queda na carga. Essa incerteza pode ser eliminada alterando a carga em uma única gota enquanto o movimento de descida ocorre. Uma fonte de ionização colocada perto da gota fará isso. De fato, é possível alterar a

carga da gota várias vezes. Se os resultados das medições da mesma gota, forem múltiplos integrais de uma carga menor, então prova-se a natureza atômica da eletricidade.

Equação para Calcular a Carga de uma Gota

Uma análise das forças que atuam em uma gota de óleo irá fornecer a equação para a determinação da carga carregada pela gota. A Figura 1 mostra as forças que atuam no movimento de queda, quando a gota atinge sua velocidade terminal. (A velocidade terminal é alcançada em alguns milissegundos para as gotículas usadas nesse experimento.) Na Figura 1. V_f é a velocidade de queda, k é o coeficiente de atrito entre o ar e a queda, conforme mostra a Lei de Stokes e N é a viscosidade do ar e α é o raio da gota.

$$k = 6\pi\eta\alpha$$

M é a massa da gota e g é a aceleração da gravidade. Como a gota de óleo está na velocidade terminal, a força resultante é zero. Portanto, as forças são iguais e opostas:

$$mg = kV_f \quad (1)$$

A Figura 2 mostra as forças que atuam na gota quando está sob a influência de um campo elétrico. Na Figura 2, E é a intensidade do campo elétrico, q é a carga transportada pela queda e v_r é a velocidade de ascensão. O somatório vetorial das forças é:

$$qE = mg + kV_r \quad (2)$$

Nos dois casos, há também uma pequena força atuante exercida pelo ar na gota. Contudo, como a densidade do ar é apenas um milésimo do óleo, essa força pode ser desprezada.

Eliminando k das equações (1) e (2) e resolvendo para q :

$$q = \frac{mg(V_f + V_r)}{EV_f} \quad (3)$$

Onde m é a massa da gota e g é a aceleração da gravidade.

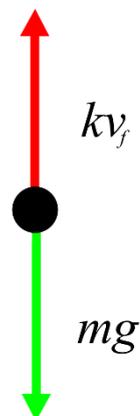


Figura 1:

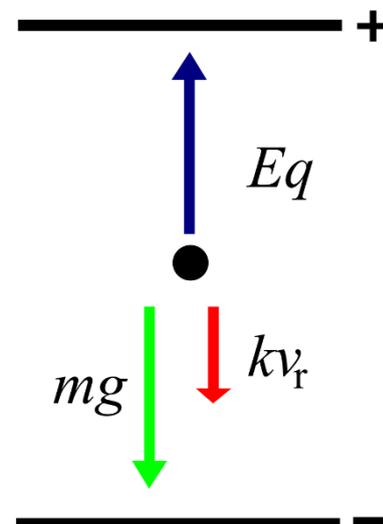


Figura 2:

Para eliminar m da equação 3, a expressão para o volume de uma esfera e a densidade do óleo são usadas:

$$mg = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g \quad (4)$$

Onde a é o raio da gota e ρ é a densidade do óleo.

Substituindo a equação 4 em 3:

$$q = \frac{4\pi a^3 \rho g (V_f + V_r)}{3(EV_f)} \quad (5)$$

Para calcular a , a fórmula da Lei de Stokes (EXPRESSÃO) pode ser utilizada. Essa equação relaciona o raio a , de um corpo esférico à sua velocidade de queda v_f em um meio viscoso (com o coeficiente de viscosidade, N). Define-se a fórmula da Lei de Stokes igual ao termo do lado direito da equação (4) e resolvendo para a , temos:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta V_f}{2\rho g}} \quad (6)$$

No entanto, a Lei de Stokes fica incorreta quando a velocidade de queda das gotículas é inferior a 0,1 cm/s. (Gotas tendo essas velocidades ou menores e com raios, na ordem de 2 microns, são comparáveis ao caminho livre médio de moléculas do ar, situação que viola uma das suposições feitas na derivação da Lei de Stokes.) Como as velocidades das gotículas utilizadas neste experimento estarão na faixa de 0,01 a 0,001 cm/s (10^{-4} a 10^{-6} m/s), a viscosidade deve ser multiplicada por um fator de correção. A viscosidade efetiva resultante é:

$$\eta_{eff} = \eta \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right) \quad (7)^{**}$$

Onde b é uma constante, p é a pressão atmosférica e a é o raio da gota calculado pelo valor não corrigido na forma da Lei de Stokes, na equação (6).

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2\rho g} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)} \quad (8)$$

Substituindo a equação (8) na equação (5) em a, teremos:

$$q = \frac{4\pi}{3} \rho g \left[\sqrt{\frac{9\eta v_f}{2\rho g} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)} \right]^3 \frac{(v_f + v_r)}{E v_f} \quad (9)$$

A intensidade do campo elétrico é dada por:

$$E = \frac{V}{d} \quad (10)$$

Onde V é a diferença de potencial entre as placas paralelas separadas pela distância d.

Substituindo a equação 10 na equação 9 e rearranjando a equação da carga elétrica, temos:

$$q = \left[\frac{4\pi d}{3} \sqrt{\left(\frac{1}{\rho g} \left[\frac{9\eta}{2} \right]^3 \right)} \right] \times \left[\sqrt{\left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)^3} \right] \times \left[\frac{(v_f + v_r) \sqrt{v_f}}{V} \right] \quad (11)$$

Os termos do primeiro conjunto de colchetes precisam ser determinados uma vez para qualquer aparelho em particular. O segundo termo é determinado para cada gota, enquanto o termo do terceiro conjunto de colchetes é calculada para cada mudança de carga (para cada gotícula).

As definições de símbolos usados, juntamente com suas unidades métricas (SI) são:

q – Carga carregada pela gota (coulombs)

d – Separação das placas na câmara de visualização das gotas (m)

ρ – Densidade do óleo (kg/m^3)

g – Aceleração da gravidade (m/s^2)

η – Viscosidade do ar ($\text{N}\cdot\text{s}/\text{m}^2$)

b – Constante, igual a $8,2 \times 10^{-3}$ ($\text{Pa}\cdot\text{m}$)

p – Pressão barométrica (pascal)

a – Raio da queda em metros calculado pela equação (6)

v_f – Velocidade de queda (m/s)

v_r – Velocidade de subida (m/s)

V – Diferença de potencial entre as placas (Volts)

- Para maiores informações sobre a Lei de Stokes, consulte [Introduction to Theoretical Physics](#), por L. Page (Nova York, Van Nostrand), capítulo 6.
- Uma derivação pode ser encontrada em [The Electron](#) por R. A. Millikan (Chicago, Imprensa da Universidade de Chicago), capítulo 5.

Nota: Um valor aceitável para a carga elementar (e) é $1,60 \times 10^{-19} \text{ C}$

Método Alternativo para Calcular a Carga em uma Gota

A equação (11) contém o raio da gota (a) e o termo de correção para a viscosidade efetiva, Neff. Note que esse termo de correção inclui o valor para (a). No entanto, é possível calcular a carga em uma gota, q , usando um termo corrigido para que não inclua o valor de (a). A equação (8) pode ser convertida em uma equação quadrática:

$$a = \sqrt{\frac{9\eta v_f}{2\rho g} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)}$$

$$a^2 = \frac{9\eta v_f}{2\rho g} \left(\frac{1}{1 + \frac{b}{pa}} \right)$$

$$a^2 + \frac{b}{p}a = \frac{9\eta v_f}{2\rho g}$$

$$a^2 + \frac{b}{p}a - \frac{9\eta v_f}{2\rho g} = 0$$

Resolvendo a equação para (a), temos:

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \quad (12)$$

Observe que esta expressão para (a), ao contrário da equação (8), não inclui (a).

Substituindo a equação (12) na equação (5), temos:

$$q = \frac{4\pi \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \rho g (v_f + v_r)}{3(Ev_f)} \quad (13)$$

Substituindo E pela Equação (10) produz o seguinte:

$$q = \frac{4\pi}{3} \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \frac{\rho g d (v_f + v_r)}{V v_f} \quad (14)$$

Equipamento

O Conjunto da Gota de Óleo de Millikan AP-8210A inclui o seguinte:

Equipamento incluído	Número da Peça
Experimento da Gota de Óleo de Millikan	AP-8210A
Óleo Mineral não volátil*, 120 mL	AP-8211
Adaptador AC, 100 – 240 VCA a 12 VDC, 1,0 A	
Atomizador	
Equipamento Requerido	Número da Peça
Fonte de alimentação de Alta Tensão, bem regulada, 500 VDC, 10 mA (mínimo)	SF-9585A
Multímetro digital para medir Tensão e Resistência	SE-9786A
Conjunto de cabos revestidos de alta tensão (2) Vermelho e Preto	SE-9269
Conjuntos de cabos revestidos (para termistor) Conjunto de 5	EM-9745
Conjunto do adaptador do conector (para cabos de conexão do termistor)	EM-8098
Cronômetro Digital	ME-1234

Equipamento Recomendado	Número da Peça
Suporte de Haste Grande	ME-8735
Haste de Aço, 45 cm (2)	ME-8736
Paquímetro (0 a 25 mm com resolução de 0,1 mm)	SE-7337

- O Óleo Mineral Squibb #5597 tem uma densidade medida de 886 kg/m^3 . No entanto, a densidade de diferentes lotes de minerais pode variar levemente. Portanto, para maior precisão, você deve determinar a densidade do óleo que você está usando.

Recomenda-se guardar o equipamento na embalagem original do material. Após desembalar, remova a inserção de espuma de dentro da câmara de visualização de gotículas. Guarde o interruptor de carregamento da placa no espaço com velcro localizado na parte superior da plataforma.

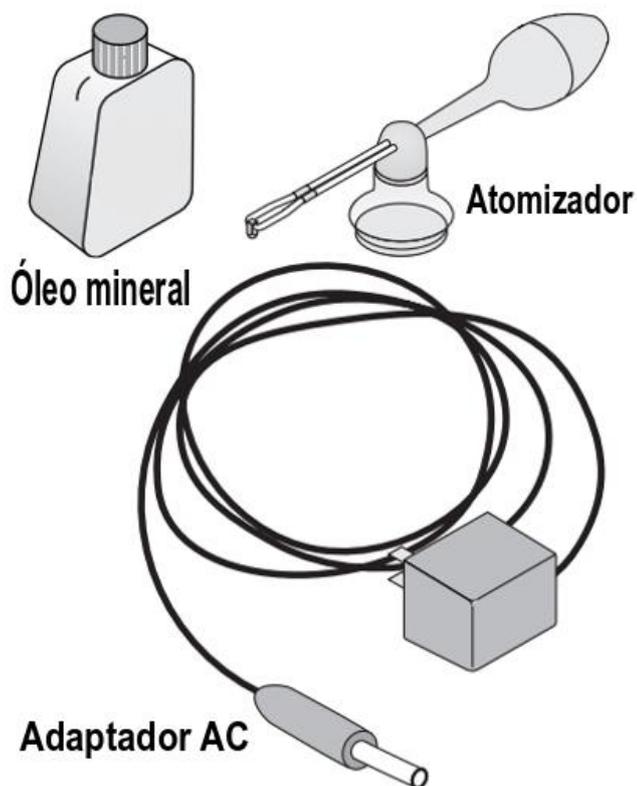


Figura 3: Equipamento incluído

Diagrama das Peças

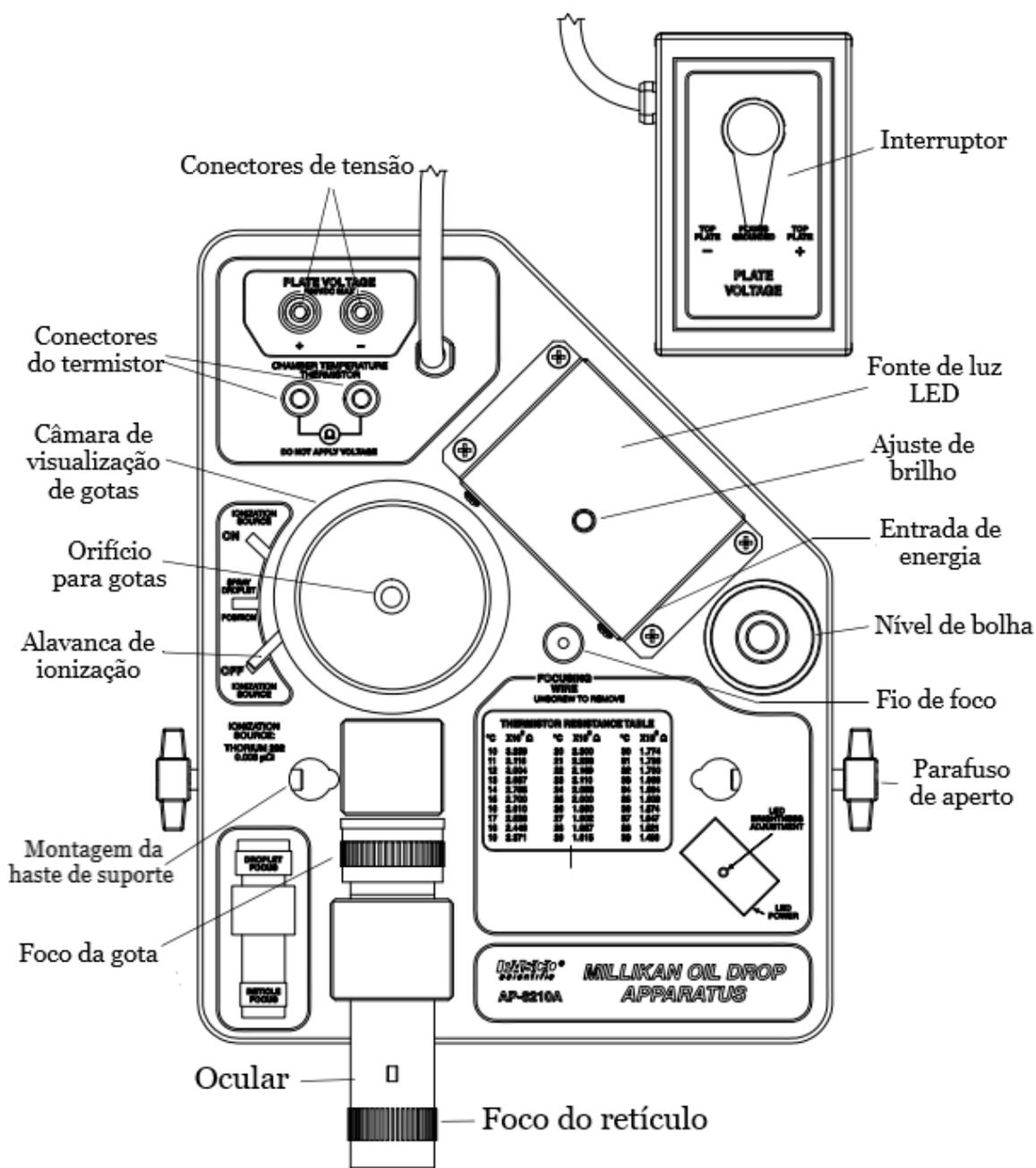


Figura 4: Aparelhos da plataforma

Componentes da Plataforma

- Câmara de visualização de gotículas (veja detalhes na Figura 5)
- Ocular de visualização (30X, campo claro, imagem ereta) com retículo (separação de linha: divisões principais de 0,5 mm e divisões menores de 0,1 mm), anel de focagem do retículo e anel de focagem de gotículas.
- Fonte de Luz LED (diodo emissor de luz) com um botão de ajuste de brilho.
- Fio de focagem (para ajustar a ocular de visualização)
- Conectores de tensão da placa, 4 mm de diâmetro.

- Conectores para o termistor, 4 mm de diâmetro (o termistor é montado na placa do capacitor inferior na câmara de visualização de gotas).



AVISO: Não aplique tensão aos conectores do termistor!

- Tabela de resistência do termistor (Resistência versus Temperatura)
- Alavanca da fonte de ionização com três posições: Ionização LIGADA, Ionização DESLIGADA e Posição de SPRAY.
- Nível de bolha.
- Furos para montagem da haste de suporte e parafusos de aperto para permitir a montagem da plataforma nas hastes de suporte, permitindo que a ocular de visualização possa ser elevada a um nível confortável aos olhos.
- Pés niveladores (3)
- Chave de carregamento da placa com um cabo de um metro (para evitar vibrações na plataforma durante o experimento).

Componentes da Câmara de Visualização de Gotículas

- Tampa (Tampa da câmara de plástico transparente)
- Proteção da Câmara
- Lente convexa (Não mostrada)
- Tampa do furo da gota
- Placa do Capacitor superior (Latão)
- Espaçador de plástico (aproximadamente 7,6 mm de espessura)
- Placa do capacitor inferior (Latão)
- Fonte de partícula alfa, tório-232, 0,00185 microcuries
- Conexão elétrica à placa do capacitor superior

NOTA: o Tório-232 é um isótopo de baixa emissão das partículas alfa, o seu tempo de meia vida é de $1,41 \times 10^{10}$ anos. Isto é, o seu uso no conjunto PASCO do Experimento da Gota de Óleo de Millikan não representa nenhum risco para o usuário.

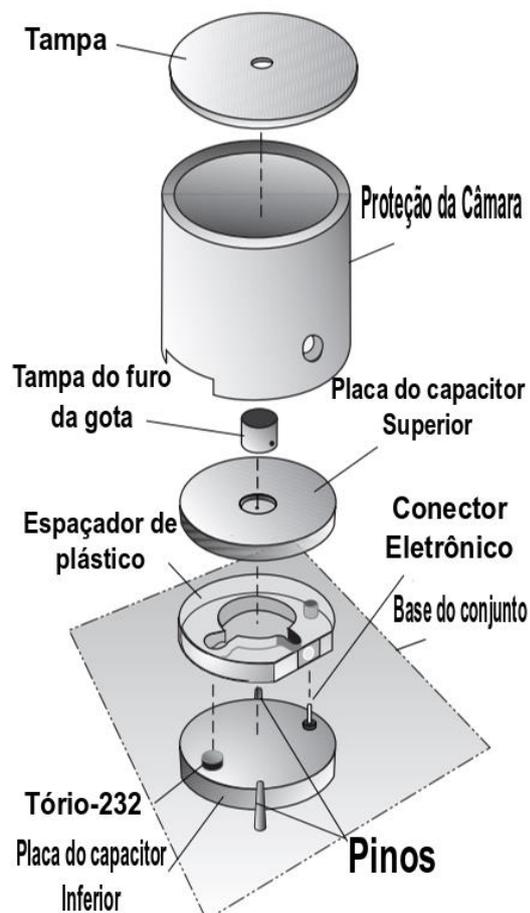


Figura 5: Câmara de Visualização das gotículas

Configuração do Equipamento

Ajustes no ambiente da realização do experimento

1. Deixe a sala mais escura possível, permitindo apenas a luz necessária para ler o multímetro e o cronômetro para gravar os dados.
2. Verifique se a parte de trás do experimento está escura.
3. Selecione um local livre de vibrações e perturbações

Ajustando a altura da plataforma e nivelamento

1. Coloque o aparelho em uma mesa nivelada e sólida com a ocular de visualização a uma altura que permita que o usuário possa ficar ereto enquanto observa as gotículas através da ocular. Um método possível é montar o experimento usando duas hastes de suporte (ME-8736) com o suporte de hastes (ME-8735). Veja a figura 6.

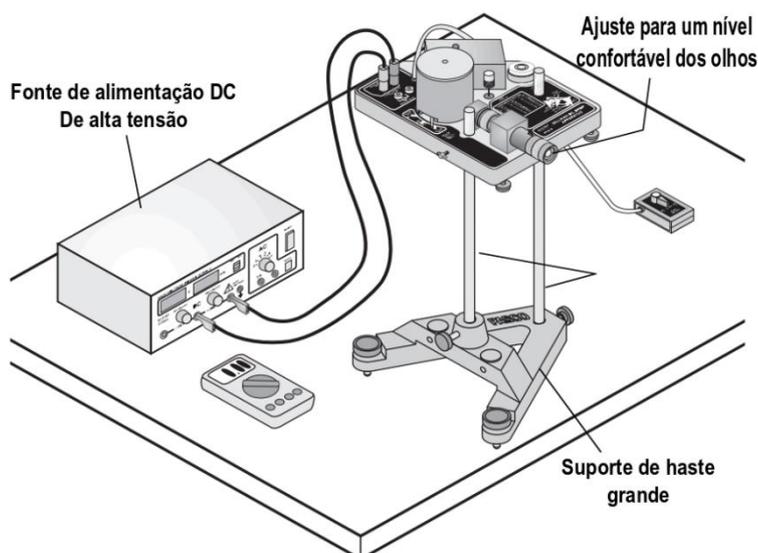


Figura 6: Configuração do Equipamento

2. Utilizando a bolha de nível, nivele o aparelho com o nivelador de parafusos no suporte de hastes ou nos pés niveladores do aparelho (dependendo da sua configuração).

Separação da Placa de Medição

1. Desmonte a câmara de visualização das gotículas levantando a carcaça para cima e depois remova a placa do capacitor e depois remova o espaçador de plástico. (Veja a figura 5.)
2. Use um Paquímetro para medir a espessura do espaçador de plástico. (A espessura é igual à separação da placa, d).
 - Certifique-se de não incluir a borda elevada do espaçador de plástico em sua medição. A precisão dessa medida é importante para o grau de precisão dos seus resultados experimentais.
3. Registre a medição.



- **NOTA:** Tenha cuidado ao manusear a placa do capacitor superior de latão e o espaçador de plástico para evitar arranhões.
- **NOTA:** Todas as superfícies envolvidas na medição devem estar o mais limpas possíveis para evitar leituras imprecisas.

Alinhando o sistema óptico

Focando a ocular de visualização

1. Recoloque o espaçador de plástico e o capacitor superior na placa do capacitor inferior. Coloque a carcaça, alinhando os orifícios na base com os pinos da caixa. (Veja a Figura 5.)

- **NOTA:** A fonte de Tório-232 e a conexão elétrica na placa do capacitor inferior encaixam-se em orifícios de tamanho apropriado no espaçador de plástico.

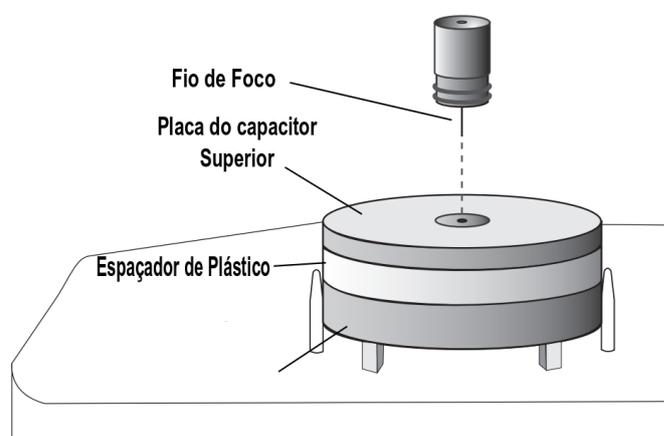


Figura 7: Fio de Focagem

2. Desparafuse o fio de focagem e insira-o cuidadosamente no orifício no centro da placa do capacitor superior. (Veja a Figura 7.)
3. Conecte o adaptador AC em um receptor de (100 a 240 V) e conecte o cabo ao conector de força ao lado da fonte de luz LED.



Verifique se o adaptador AC está com a voltagem correta, 110, 117, 220 ou 240 V

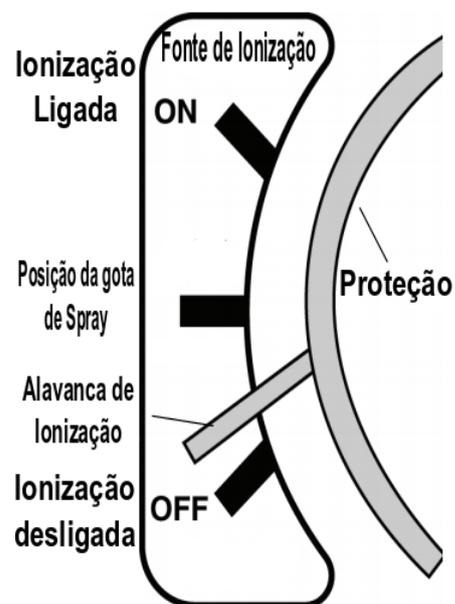
4. Gire o botão de ajuste de brilho na fonte de luz LED para otimizar o contraste entre as luzes, o pino iluminado e o fundo escuro.
5. Deixe a ocular em foco, girando o anel de foco da ocular.
6. Visualize o fio de foco através da ocular de visualização e traga o fio para o foco girando o anel de foco.

- **NOTA:** A visualização será mais fácil para os usuários que usam óculos se a ocular estiver focada sem usar os óculos.
7. Retire o fio de focagem e guarde-o em seu local de armazenamento na plataforma.

Funções dos Controles

Alavanca da Fonte de Ionização

1. Quando a alavanca está na posição de ionização desligada, a fonte de ionização é girada para longe da área das gotículas, de modo que nenhuma partícula alfa entre na área do experimento. Nesta posição, a fonte alfa está protegida em todos os lados.
2. Na posição ON, a fonte de ionização é girada em direção à área onde as gotículas caem e a área é exposta às partículas alfa de Tório-232.
3. Na posição de Spray, a câmara é ventilada por um pequeno orifício que permite que o ar escape quando as gotas de óleo estão sendo introduzidas na câmara.



Interruptor de Carregamento da Placa

O Interruptor de Carregamento da placa possui três posições:

1. Placa Superior -: A posição de ligação negativa está conectada ao capacitor superior.
2. Placa Superior +: A posição de ligação negativa está conectada ao capacitor inferior.
3. Placas Aterradas: As placas são desconectadas da fonte de alta tensão e conectadas eletricamente uma à outra.



Figura 8: Interruptor de Carregamento da Placa

Ajustando e Medindo a Tensão



CUIDADO – ALTA TENSÃO! Ao usar a fonte de alimentação, siga as regras de segurança conforme instruções de operação da fonte de alimentação

1. Conecte a fonte de alimentação DC de alta tensão aos conectores de tensão da placa usando os Cabos de conexão revestidos de alta voltagem SE-9269.
2. Ajuste a fonte de tensão para fornecer cerca de 500 Volts. Use o multímetro digital para medir a tensão fornecida aos conectores de tensão da placa.



A temperatura dentro da Câmara de visualização de gotículas deve ser medida periodicamente (a cada quinze minutos).

Procedimento Experimental

1. Termine a montagem da câmara de visualização de gotas, colocando a tampa do orifício de gotas na parte superior do capacitor e, em seguida, coloque a tampa na carcaça. (Veja a Figura 5.)
- **NOTA:** A tampa do orifício da gota tem um orifício em um lado e um orifício na parte inferior. O buraco na parte inferior se alinha com o pequeno orifício no centro da placa do capacitor superior.
 - **NOTA:** A tampa do orifício da gota evita que outras gotas entrem na câmara assim que o experimento começa.
2. Meça e registre a tensão que chega até a placa e a resistência do termistor (Temperatura).

Introduzindo as gotículas na câmara

1. Coloque o óleo de densidade conhecida no atomizador, como o óleo mineral Squibb #5587, de densidade de 886 kg/m^3 .
2. Certifique-se de que a ponta do atomizador esteja apontada para baixo (90° em relação ao eixo; Veja a Figura 10). Prepare o atomizador apertando rapidamente o bulbo até que o óleo esteja pulverizando.
3. Coloque a alavanca da fonte de ionização na posição que permite que o ar escape da câmara durante a introdução das gotículas na câmara.

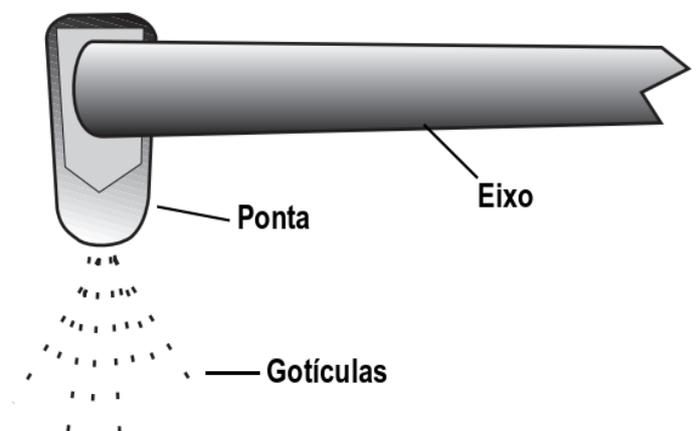


Figura 9: Ponta do Atomizador

4. Coloque a ponta do atomizador no orifício na tampa da câmara de visualização das gotas.
5. Enquanto observa pela ocular de visualização, aperte o bulbo do atomizador com um aperto rápido. Então aperte para forçar levemente as gotículas através do orifício na tampa do orifício de entrada na placa do capacitor superior e no espaço da área de visualização entre as duas placas do capacitor.
6. Quando ver uma chuva de gotas através da ocular, mova a alavanca da fonte de ionização para a posição “OFF”.



Se “esguichos” repetidos do atomizador não produzirem gotículas na área de visualização, mas produz um brilho bastante nublado do campo de visão, o orifício na parte superior da placa do capacitor ou na tampa do orifício da gota pode estar entupido. Consulte a seção Manutenção para instruções de limpeza

- **NOTA:** A técnica exata de introdução de gotículas precisou ser desenvolvida pelo pesquisador Dmitry Uskov, da Universidade de Bescia, que sugere ajustar o potencial da placa para cerca de 300 – 350V e esguichar as gotas e aguardar cerca de um minuto. Você irá descobrir que as gotas individuais de elétrons se auto selecionam enquanto as outras gotas sobem ou descem. O objetivo é obter um pequeno número de gotas, não uma nuvem grande e brilhante da qual uma única gota possa ser escolhida.
- **NOTA:** Lembre-se de que as gotas estão sendo forçadas a entrar na área de visualização pela pressão do atomizador. O bombeamento excessivo do atomizador pode fazer com que muitas gotas sejam forçadas a entrar na área de visualização, e o mais importante, na área entre a parede da câmara e o ponto focal da ocular de visualização. Gotas nesta posição impedem a observação de quedas no ponto focal da ocular.
- **NOTA:** Se toda a área de visualização ficar cheia de gotículas para que nenhuma gota possa ser selecionada, aguarde cerca de três ou quatro minutos até que as gotículas desapareçam da vista ou então, desligue a fonte de alimentação de alta tensão e desmonte a câmara de visualização de gotas, removendo assim as gotas.
- **NOTA:** Quando a quantidade de óleo nas peças e na câmara de visualização de gotas se tornar excessiva, limpe as peças conforme detalhado na seção Manutenção. Lembre-se de que quanto menos óleo for pulverizado na câmara, menos vezes a câmara deve ser limpa

Seleção da Gota

1. Nas gotas à vistas na câmara de visualização de gotas, selecione uma gota que caia lentamente (cerca de 0,02 a 0,05 mm/s). Deixe o interruptor na posição de carregamento “Placas aterradas” ou acione as placas “Placa Superior –” e “Placa Superior +” para alterar o movimento das gotas para cima e para baixo.
 - **DICA:** Uma gota que leva cerca de 15 segundos para passar pela distância entre as principais linhas do retículo de fundo (0,5 mm) durante a descida, irá subir a mesma distância, sob a influência de um campo elétrico de 1000 V/cm nos seguintes tempos, com as seguintes cargas:

Tabela 1.1:

Tempo (s)	Excesso de Elétrons
15	1
7	2
3	3

- **NOTA:** Se houver muitas gotas no campo de visualização, você pode limpá-lo, alterando a posição do interruptor de carregamento da placa para “PLACA SUPERIOR –” (conectando a tensão às placas do capacitor) por alguns segundos.
 - **NOTA:** Se houver poucas gotas ionizadas (gotas que, na presença do campo elétrico, não alteram o sentido de seu movimento), mova a alavanca de ionização para a posição ON por cerca de 5 segundos.
2. Ao encontrar uma gota de óleo com tamanho e carga adequados, ajuste o foco da ocular de visualização.
 - **NOTA:** A Gota de óleo está em seu melhor foco para a coleta precisa de dados quando aparece um ponto claro de luz.
 3. Ajuste o brilho da luz de LED para otimizar o contraste entre a gota iluminada e o fundo escuro quadriculado.

Coleta de Dados sobre as Velocidades de Queda e de Ascensão

1. Meça a Velocidade de Ascensão (quando as placas estão carregadas) e a Velocidade de Queda (quando as placas não estão carregadas) cerca de 10 a 20 vezes. Controle a gota para cima e para baixo, conforme necessário, usando o interruptor de carregamento da placa.
 - **NOTA:** Uma maior precisão nas medidas é alcançada quando a gota iluminada pela luz passa pela linha principal do retículo quadriculado ao fundo até o instante em que passa

pela segunda linha principal do retículo quadriculado. (Essas linhas estão separadas por 0,5 mm.)

2. Calcule a carga da gota. Se o resultado dessa primeira medida da carga for maior que 5 elétrons em excesso, você deve selecionar gotas mais medições seguintes.
3. Introduza mais gotas de óleo na câmara usando o procedimento descrito anteriormente e selecione outra gota.
4. Meça as Velocidades de Ascensão e de Queda da gota selecionada cerca de 10 a 20 vezes ou até que a carga mude espontaneamente seu movimento ou até que a gota fique fora do campo de visualização.
5. Coloque a gota no topo do campo de visão e mova a alavanca de ionização para a posição ON por alguns segundos enquanto a gota realiza seu movimento de queda.
6. Se a Velocidade de Ascensão da gota mudar, faça várias medidas da nova Velocidade de Ascensão enquanto puder (Cerca de 10 a 20 vezes).
7. Se a gota ainda estiver à vista, tente alterar a carga na gota introduzindo mais partículas alfa, como descrito anteriormente e meça novamente a Velocidade de Ascensão cerca de 10 a 20 vezes, se possível.
8. Repita a etapa (7) quantas vezes puder.
9. Registre a Tensão da Placa, a densidade do óleo, a viscosidade do ar na temperatura da câmara de visualização das gotas (consulte o Apêndice A) e a pressão barométrica para cada série de medições de velocidades.
 - **NOTA:** É recomendado, se possível, observar o maior número de cargas em uma única gota.

Cálculo da Carga de um Elétron

- A Equação a seguir é a equação (14) na Seção Introdução. Ela pode ser usada para calcular a carga, q , de um elétron.

$$q = \frac{4\pi}{3} \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \frac{\rho g d (v_f + v_r)}{V v_f} \quad (14)$$

As definições dos símbolos usados e das unidades de medida (SI) são as seguintes:

q – Carga carregada pela gota (coulombs)

d – separação das placas na câmara de visualização das gotas (m)

ρ – Densidade do óleo (kg /m³)

G – aceleração da gravidade (m/s²)

N – Viscosidade do ar (N*s/m²)

b – Constante, igual a $8,2 \times 10^{-3}$ (Pa*m)

ρ – pressão barométrica (pascal)

a – raio da queda em metros calculado pela equação (6)

v_f – velocidade de queda (m/s)

v_r – velocidade de subida (m/s)

V – diferença de potencial entre as placas (volts)

NOTA: Um valor aceitável para a carga elementar (e) é $1,60 \times 10^{-19}$ C.

Procedimento recomendado para o cálculo da carga de um elétron:

1. Use a equação (12) para calcular o raio, a, da gota de óleo:

$$a = \sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \quad (12)$$

2. Substitua o raio, a, do cálculo acima na equação (4) para encontrar a massa, m, da gota de óleo:

$$mg = \frac{4}{3}\pi a^3 \rho g \quad (4)$$

$$m = \frac{4}{3}\pi \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2g\rho}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \rho$$

3. Substitua m do cálculo acima na equação (3A) para calcular a carga, q, de um elétron:

$$q = \frac{mg(V_f + V_r)}{EV_f} \quad (3)$$

$$q = \frac{mgd(v_f + v_r)}{Vv_f} \quad (3a)$$

$$q = \frac{4\pi}{3} \left[\sqrt{\left(\frac{b}{2p}\right)^2 + \frac{9\eta v_f}{2\rho g}} - \frac{b}{2p} \right]^3 \frac{\rho g d(v_f + v_r)}{Vv_f}$$

Usando um microscópio de projeção com o Experimento da Gota de Óleo de Millikan

Para demonstrar o experimento de Millikan para uma sala de aula inteira em uma tela de TV ou monitor de computador, use um microscópio de projeção.

Procedimento

1. Coloque um recorte de papel branco na câmara de visualização de gotículas para refletir mais luz:

- Antes de focar a ocular de visualização (consulte a Seção de Configuração de Equipamento, alinhando o sistema óptico), coloque uma tela de papel branco na câmara de visualização de gotículas conforme ilustrado na Figura 11.
- Prossiga com a Etapa 1 da seção alinhando o sistema óptico.

2. **Alinhe e focalize o microscópio que projeta:**

- Instale o microscópio de projeção conforme indicado nas instruções do fabricante.
- Após concluir a configuração e o foco do Experimento da Gota de Óleo de Millikan nas gotas de óleo, deslize cuidadosamente a ocular do microscópio que projeta sobre a ocular do aparelho Millikan.
- Focalize o microscópio de projeção conforme indicado nas instruções do fabricante.

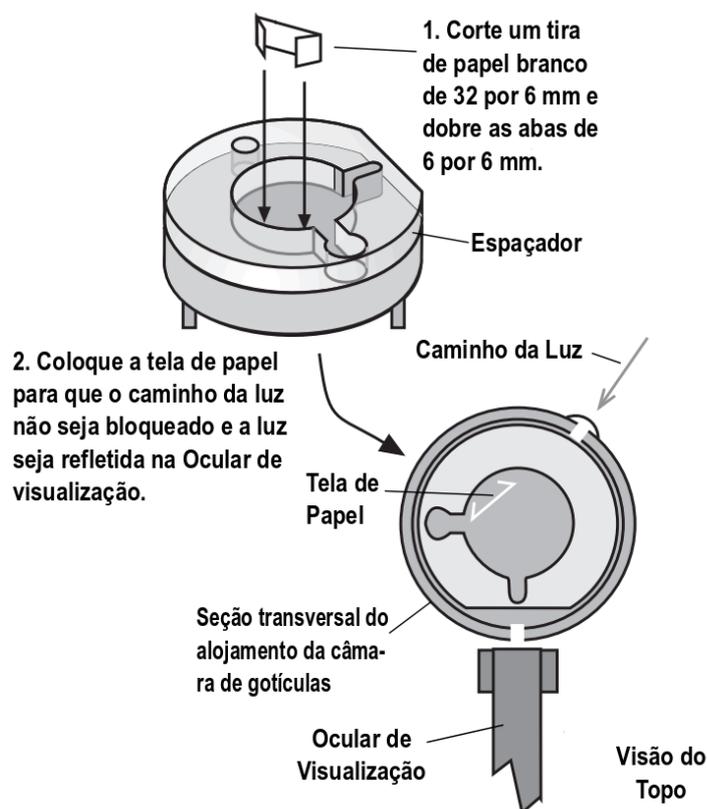


Figura 10: Coloque uma tela de papel branco na câmara de visualização de gotículas.

Informação Histórica

Notas Históricas

Os Gregos foram os primeiros a relatar os efeitos da eletricidade, quando registraram que o âmbar friccionado atraía luz. Contudo, as teorias que explicam esse fenômeno não surgiram até 1747, quando Benjamin Franklin propôs que um fluído elétrico ou fogo existisse em certas quantidades em toda a matéria. Um excesso desse líquido na matéria seria produzir uma carga positiva e uma deficiência desse fluído produziria uma carga negativa. Uma teoria ligeiramente diferente foi apresentada pelo físico Symmer, doze anos depois. Ele propôs que a matéria em um estado neutro não mostra propriedades elétricas porque contém quantidades iguais de dois fluídos sem peso, chamados de positivos e eletricidade negativa, respectivamente.

Franklin também postulou a existência de uma partícula elétrica pequena o suficiente para permear facilmente a matéria. O experimento de Faraday com eletrólise, que demonstrou que quando uma corrente é passada através de um eletrólito, as massas dos compostos depositados em eletrodos opostos são proporcionais aos pesos químicos equivalentes dos compostos, que também apoiava o conceito de Franklin de uma partícula elétrica elementar. As teorias dos fluidos, juntamente com uma teoria que explica a eletricidade como um estado de tensão na matéria, foram as principais explicações dos fenômenos elétricos até o final do século XIX.

Primeiras Determinações do Elétron (e)

A palavra “elétron” foi sugerida pela primeira vez em 1891 pelo Dr. G Johnstone Stoney como um nome para a “unidade natural de eletricidade”, após saber, a quantidade de eletricidade que deve passar por uma solução para liberar um eletrodo. Como um átomo de Hidrogênio ou qualquer substância equivalente. Stoney, concluiria que a carga do elétron multiplicada pelo número de moléculas em um grama daria a quantidade da eletricidade necessária para criar um mol por eletrólise. Essa quantidade foi determinada por Faraday como sendo 9650 unidades eletromagnéticas de eletricidade. Usando este método, Stoney obteve um valor de $0,3 \times 10^{-10}$ e.s.u. (A Teoria Cinética forneceu a base para a estimativa de Stoney do número de Avogadro).

A primeira tentativa experimental de medir a carga um íon foi feita por Townsend no final da década de 1890. Ele tinha observado que durante a eletrólise do ácido sulfúrico, foram produzidos íon de Hidrogênio e Oxigênio com carga positiva (embora houvesse um milhão de moléculas neutras para cada uma carregada). Este método foi usado para produzir um

gás ionizado que foi borbulhado na água para formar uma nuvem. Na determinação de e Townsend procedeu da seguinte maneira:

1. Ele assumiu que, no vapor de água saturada, cada íon condensava a umidade sobre ele, de modo que o número de íons era o mesmo que o número de gotículas.
2. Ele determinou, com o auxílio de um eletrômetro, a carga elétrica total por centímetro cúbico transportado pelo gás.
3. Ele descobriu o peso total da nuvem passando-a através de tubos de secagem e determinando o aumento de peso desses tubos.
4. Ele descobriu o peso médio das gotículas de água que constituem a nuvem observando a taxa de queda da gravidade e computando seu raio médio com o auxílio de uma lei puramente teórica conhecida como Lei de Stokes.
5. Ele dividiu o peso da nuvem pelo peso médio das gotículas de água para obter o número de gotículas que, se a suposição 1 estiver correta, era o número de íons e ele então dividiu a carga total por centímetro cúbico no gás pelo número de íons para encontrar a carga média transportada por cada íon. Ou seja, para encontrar e .¹

¹Condensado do Livro de Robert A. Millikan, *The Electron* (Imprensa da Universidade de Chicago, Chicago, 1933, pg. 45-46) e usado com permissão dos editores.

Townsend obteve resultados na faixa de 3×10^{-10} e.s.u. e J.J. Thompson, em 1900, usou um método semelhante ao de Townsend obteve um valor de 6×10^{-10} e.s.u. Ambos usando os os métodos, no entanto a primeira suposição (cada gota formada em torno de apenas um íon) mostrou-se apenas aproximadamente correta e os métodos experimentais não foram adequados para fornecer uma determinação precisa de e .

H.S. Wilson aprimorou o trabalho de Townsend e Thompson adicionado duas placas de latão que poderiam ser conectadas a uma bateria de 2000 Volts. Uma nuvem foi formada entre essas placas (sem carga) e a velocidade de queda da nuvem foi gravada. Uma segunda nuvem foi formada e sua velocidade de queda foi observada em um campo elétrico (As placas sendo carregadas). Como as duas velocidades são proporcionais às forças que atuam nas gotas² e à velocidade de queda da nuvem com as placas não carregadas determina o tamanho e a massa das gotas pela Lei de Stokes, Wilson conseguiu obter um valor de 3×10^{-10} e.s.u. para e . Como as medições de Wilson sempre foram feitas no topo da nuvem, ou com gotas com a menor carga (as gotas com mais carga eram conduzidas para baixo mais rapidamente com o campo elétrico ativado), a suposição de um íon por gota foi validada.

²Com as placas descarregadas, a força é mg , onde m é a massa da gota e g é a aceleração da gravidade. Com as placas carregadas, a força é $mg \pm Ee$, onde E é a intensidade do campo elétrico entre as placas e e é a carga da gota.

Determinação da Carga do Elétron de Millikan

Millikan melhorou o design de Wilson, usando um potencial mais alto através das placas para que a velocidade de que da nuvem não só poderia ser impedida, mas também invertida. Algumas gotas carregadas se moveram para cima, outras se moveram rapidamente para baixo, enquanto as gotas não carregadas não foram afetadas e continuaram a cair. Algumas gotas, que carregava uma carga de magnitude adequada, de modo que a força da gravidade na queda quase igualava a força do campo elétrico na queda, permaneceu em vista. Ao variar o potencial das placas, Millikan poderia equilibrar essas gotas. Essa situação provou ser uma melhoria significativa, pois permitiu que todas as medições fossem feitas em uma única gota. Ao usar esse método de queda controlada, Millikan pode observar as propriedades de íons individuais, o que foi útil para determinar se diferentes íons carregam a mesma carga.

Na passagem seguinte, retirada da “Revista Filosófica” de fevereiro de 1910, Millikan descreve o procedimento real do experimento.

“As observações sobre a taxa de queda foram feitas com um telescópio de foco curto colocado a cerca de 2 pés de distância das placas. Na ocular deste telescópio foram colocadas três miras igualmente espaçadas.. Uma pequena parte do espaço entre as placas era iluminada por um feixe estreito de uma luz de arco, o calor do arco sendo absorvido por três células de água em série. O ar entre as placas foi ionizado por 200 mg de rádio de atividade 20.000 colocados de 3 a 10 cm de distância das placas. Um segundo ou mais depois *que a nuvem foi produzida*³, o rádio foi removido ... e o campo ativado por meio de uma chave de lançamento duplo. Se as gotas não foram mantidas suspensas pelo campo, *a diferença de potencial era alterada*.... As reticências foram colocadas perto da placa inferior e assim que uma queda estacionária foi encontrada em algum lugar acima da mira superior, foi observado por alguns segundos para garantir que as gotas não movem-se, e em seguida, o campo foi jogado retirado e as placas entraram em curto-circuito por meio do interruptor de tiro duplo, para garantir que eles não retirem nenhuma carga. A queda das gotas foi cronometrada por meio de um cronômetro preciso ao passar através das três miras, um dos dois ponteiros do relógio é parado no instante da passagem pelo meio da mira e outra no instante da passagem pela mira inferior. Veremos que esse método de observação fornece uma dupla verificação após a evaporação; pois se a queda é estacionária a princípio, não

está evaporando de maneira suficiente para influenciar a leitura de queda e se a taxa de queda começa a evaporar consideravelmente antes da leitura. O tempo necessário para que a gota passe pelo segundo espaço deve ser maior que o necessário para passar através do primeiro espaço. Veremos a partir das observações que se seguem que este não foi, em geral, o caso.

É um experimento extremamente interessante e instrutivo assistir a uma dessas quedas começar e parar, ou até inverter sua direção de movimento, quando o campo é acionado e retirado do experimento. Eu sempre pego uma gota que era leve demais que permanece parado e movê-la para frente e para trás desta maneira, quatro ou cinco vezes entre os mesmos dois retículos, observando-o primeiro a gota cair sob a gravidade quando o campo é retirado e depois observando a gota subir contra a gravidade quando o campo é acionado em

Além disso, uma vez que as observações ... são feitas na mesma gota, todas as incertezas quanto á condição pode ser exatamente duplicado nas formações de nuvens sucessivas obviamente desaparecem. Não resta incerteza teórica no método, a menos que seja a incerteza se a Lei de Stokes se aplica ou não à taxa de queda dessas gotas sob a gravidade”.

³As frases em itálico indicam uma ligeira mudança na redação, para fins de clareza, do trabalho original de Millikan.

Experimentos com a queda da água balanceada produziram o valor de $3,422 \times 10^{-10}$ e.s.u para e. O mais importante do aspecto desses experimentos, no entanto, foi a observação de Millikan de que uma queda crescente mudaria subitamente sua velocidade. Esse fenômeno pode ser facilmente produzido colocando-se uma fonte radioativa perto das gotas. Isso demonstrou que a gota “capturou” um íon, alterando assim a carga da gota e sua respectiva velocidade.

A Determinação Exata de e

Em 1909, Millikan começou a construir um novo aparelho projetado para a observação de gotas de óleo únicas por longos períodos de tempo. Como as gotas de água se mostraram inadequadas para uma observação prolongada após o fenômeno de captura de íons, por conta do processo de evaporação. Millikan então usou gotas de óleo, que não foram afetadas pela evaporação. O aparelho consistia em duas placas de latão paralelas separadas por uma distância de 16 mm por blocos de Ebonite (Resina sintética). O óleo não volátil foi pulverizado na câmara acima das placas, e pequenas gotas lentamente chegaram à área entre as placas através de um pequeno orifício na placa superior. As gotas foram iluminadas por um feixe

de uma lâmpada de arco de carbono e foram observadas através de uma ocular de medição. Os detalhes da construção do aparato final de Millikan construído em 1914 (basicamente semelhantes aos seus dispositivos anteriores, e para fins desta discussão, podem ser considerados os mesmos que os aparelhos anteriores) atestam o esforço realizado na obtenção da avaliação mais precisa possível. A passagem a seguir faz parte da descrição de Millikan do aparelho, incluindo um diagrama do dispositivo.

“Por isso, construí há dois anos um novo condensador com superfícies polidas opticamente e planas para dentro de dois comprimentos de onda da luz de sódio. Eles eram de 22 cm de diâmetro e foram separados por três pedaços de placas de escalão de 14,9174 mm, grossas e com superfícies opticamente perfeitas. As dimensões do condensador, portanto, não introduziu mais uma incerteza de mais de uma parte em 10.000.”⁵

“A estagnação completa do ar entre as placas do condensador foi atingida, primeiro, absorvendo todos os raios de calor da lâmpada de arco por meio de uma célula de água de 80cm longa e uma célula de cloreto cúprico e, em segundo lugar, imergindo o vaso de óleo inteiro em uma temperatura constante em motores a gás (40 litros), o que permitia, em geral, flutuações não superior a 0,02°C durante uma observação.”⁶

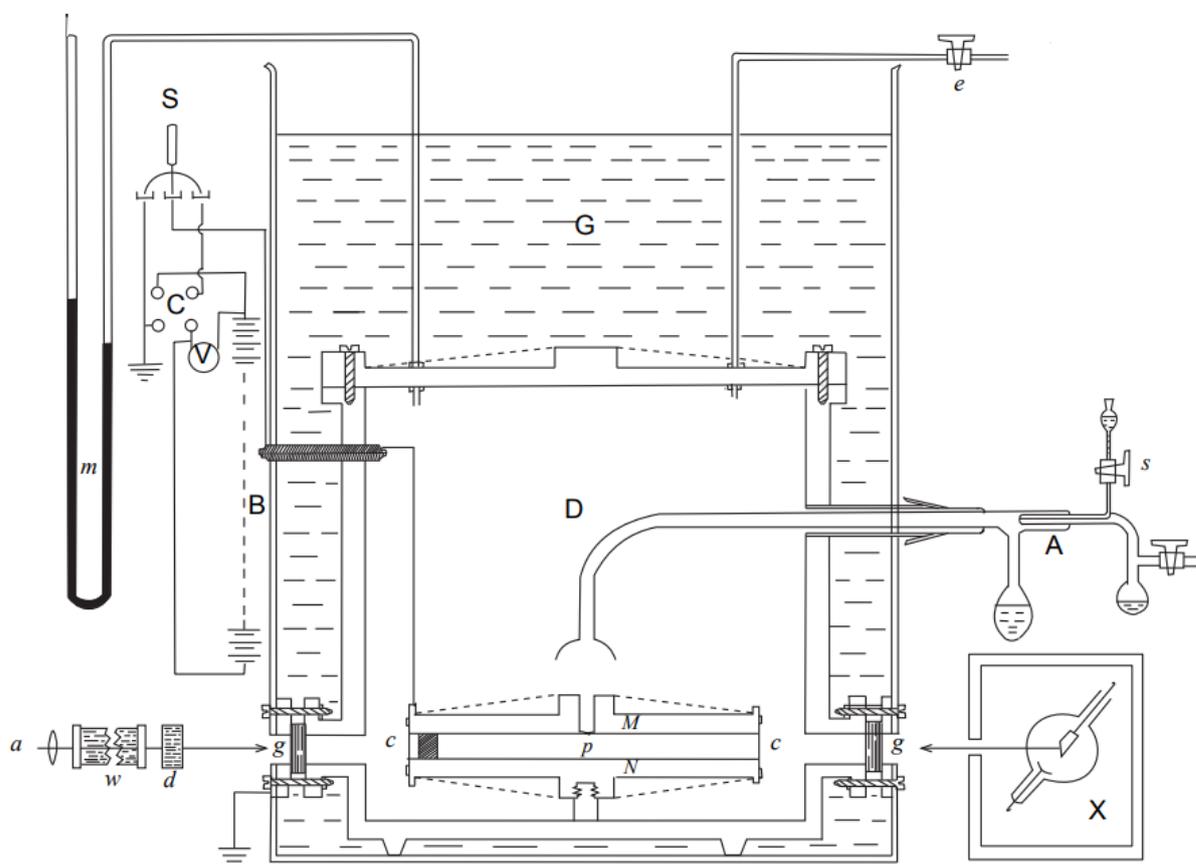


Figura 11: Diagrama do Aparato de Millikan

A, atomizador através do qual o spray de óleo é soprado no recipiente cilíndrico, D, G, tanque de óleo para manter a temperatura constante, M e N, placas circulares de latão, com um campo elétrico produzido por um acionamento de 10.000 volts da bateria B. Luz da Lâmpada de arco cujo os raios são removidos pela passa através de W e d, a luz entra na câmara através da janela de vidro g que ilumina a gota em p entre as placas M e N através de um orifício em M. Os íons adicionados são produzidos por raios-X do bulbo X.

Com este novo aparelho, foram feitas centenas de medições em diferentes gotas, com o objetivo de fazer uma avaliação exata de (e) e provar ou refutar a teoria atômica da eletricidade. O valor de (e) que foi obtido nestes cinco anos de trabalho foi de $4,774 \times 10^{-10}$ e.s.u. Esse valor de (e) foi aceito até 1928, quando uma determinação precisa do número de Avogadro por medições de difração de raios X em cristais permitiu que o cálculo de (e) fosse $4,803 \times 10^{-10}$ e.s.u. A discrepância foi mais tarde atribuída ao valor muito baixo que Millikan utilizou para a viscosidade do ar.

Natureza atômica da eletricidade

A natureza atômica da eletricidade é melhor exemplificada pela tabela a seguir, extraída dos dados de Millikan:

n	4,917 x n	Carga observada	n	4,917 x n	Carga observada	n	4,917 x n	Carga Observada
1	4,917	---	7	34,42	34,47	13	63,92	63,58
2	9,834	---	8	39,34	39,38	14	68,84	68,65
3	14,75	---	9	44,25	44,42	15	73,75	---
4	19,66	19,66	10	49,17	49,41	16	78,67	78,34
5	24,59	24,60	11	54,09	53,91	17	83,59	83,22
6	29,5	29,62	12	59,00	59,12	18	88,51	---

Millikan fez os seguintes comentários sobre essa tabela.

“Nesta tabela, 4,917 é apenas um número obtido... da mudança de velocidade devido à captura de íons e um que é proporcional nesta experiência é a carga iônica. A coluna 4,917 x n contém simplesmente uma série inteira de múltiplos exatos desse número de 1 a 18. A coluna “Carga observada” fornece os valores observados sucessivos da velocidade crescente da que mais a velocidade de descida. Veremos que durante o tempo de observação, cerca de quatro horas, essa queda transportou todos os múltiplos possíveis da carga elementar de 4 a 17, salvo apenas 15. Nenhuma relação múltipla mais exata ou mais consistente é encontrada nos dados que os químicos têm acumulados nas potências combinadas dos elementos e sobre os quais repousa a teoria atômica da matéria do que é encontrado nos números anteriores.”

Tabelas como essas – e dezenas delas poderiam ser dadas – colocam além de qualquer dúvida a visão de que um elétron carregue onde quer que seja encontrado, seja em um isolante ou condutor, seja em eletrólitos ou em metais, tenha uma estrutura granular definida, que consiste em um número exato de partículas de eletricidade (elétrons) exatamente iguais, que nos fenômenos estáticos estão espalhados pela superfície do corpo carregado e nos fenômenos atuais estão flutuando ao longo do condutor. Em vez de desistir, como Maxwell achava que deveríamos fazer um dia, a ‘provisória hipótese de cargas moleculares’, somos obrigados a fazer todas as nossas interpretações dos fenômenos elétricos, tanto metálicos quanto eletrolíticos, em termos disso.”⁸

⁸Millikan, Robert A., pp. 74-75

Embora os valores da carga em uma queda específica tenham sido considerados múltiplos exatos de um determinado valor (e), o valor de (e) variou para quedas de diferentes massas. Essa discrepância foi atribuída à queda da lei de Stokes. Através da experimentação, a lei falhou quando o tamanho da gota se aproximou do caminho livre médio das moléculas de ar. Quando essa situação ocorre, o meio em que a queda cai deixa de ser homogêneo em relação à queda. Isso contradiz uma das suposições nas quais a Lei de Stokes se baseia. Através de seu trabalho com o elétron, Millikan conseguiu determinar um fator de correção para a Lei de Stokes.

Ao realizar o experimento com gotas de mercúrio e outras substâncias, Millikan demonstrou que a carga elétrica elementar era a mesma para isoladores, semicondutores e condutores. Ele também demonstrou que a partícula beta tinha a mesma carga que um elétron (de fato, é um elétron) e positivo e negativo elétrons (o elétron positivo referente a um próton e não um pósitron) são iguais em carga. O experimento também produziu insights sobre o estudo de gases ionizados.

Poucas experiências que são tão simples em princípio forneceram uma riqueza de evidências experimentais para confirmar a teoria atômica e mediu uma constante física importante.

Número de Avogadro

A medição da carga do elétron também permite o cálculo do número de Avogadro. A quantidade de corrente necessária para eletro depositar um grama equivalente a um elemento em um eletrodo (1 Faraday) é igual à carga do elétron multiplicada pelo número de moléculas em um mol. Através de experimentos de eletrólise, verificou-se que 1 Faraday é de $2,895 \times 10^{14}$ unidades eletrostáticas (e.s.u.) por grama de peso equivalente (mais

comumente expresso no sistema m-k-s como $9,625 \times 10^7$ coulombs por quilograma de peso equivalente). Dividindo o Faraday pela carga do elétron, tem-se que:

$$\frac{2,895 \times 10^{14} e \cdot s \cdot u / gm}{4,803 \times 10^{-10} e \cdot s \cdot u} = 6,025 \times 10^{23}$$

$6,025 \times 10^{23}$ moléculas por grama de peso equivalente ou o número de Avogadro.

Leitura Sugerida

Caso o aluno deseje um detalhamento sobre esse experimento clássico, as seguintes referências são sugeridas:

1. Millikan, Robert A., The Electron, (Chicago, The University of Chicago Press, 1917 (reprinting in paperback form, 1963)).
2. Millikan, Robert A., "The Isolation of an Ion, A Precision Measurement of its Charge, and the Correction of Stokes' Law", *The Physical Review*, Vol. 2, No. 2, pp. 109 – 143, June 1913.
3. Millikan, Robert A., "On the Elementary Charge and the Avogadro Constant," *The Physical Review*, Vol. 32, No. 4, pp. 349-397, April, 1911.
4. Shamos, M.H., Great Experiments in Physics (Holt-Dryden, New York, 1959), pp. 238-249.

Notas de Manutenção

Limpeza

1. A proteção da câmara de visualização de gotículas, as placas do capacitor, o espaçador de plástico e a tampa do orifício da gota deve ser limpo com água e detergente, com atenção especial ao orifício da gota na placa capacitadora superior, a porta de observação de vidro cobre a carcaça e a tampa do orifício da gota.
2. O espaçador de plástico deve ser polido com um pano macio e sem fiapos para remover qualquer óleo, impressões digitais ou fiapos.
3. As lentes do espaçador de plástico devem ser limpas dos dois lados usando uma ponta coberta de algodão.
4. Aplique uma fina camada de óleo nas placas do capacitor para ajudar a evitar a corrosão.
5. Seque todas as peças completamente antes da remontagem.



Manuseie sempre cuidadosamente as placas de capacitor e o espaçador de plástico para evitar arranhá-las.

Solventes que possam danificar o plástico devem ser evitados.

Ajustando o retículo vertical e visualizando os alinhamentos da ocular

Se o alinhamento do retículo ou da ocular de visualização for alterado durante o manuseio inadequado, realinhe-o usando o seguinte procedimento:

1. Solte o parafuso de ajuste no suporte da luneta de visualização (Figura 1).
2. Coloque o fio de focagem no seu lugar e enquanto olha pela ocular, gire a luneta de visualização até que as linhas verticais do retículo estejam na vertical ao fio de focagem.
3. Encontre o centro do foco no botão de ajuste na tela de visualização. O escopo (será aproximadamente a meio caminho entre o mínimo e o foco máximo).

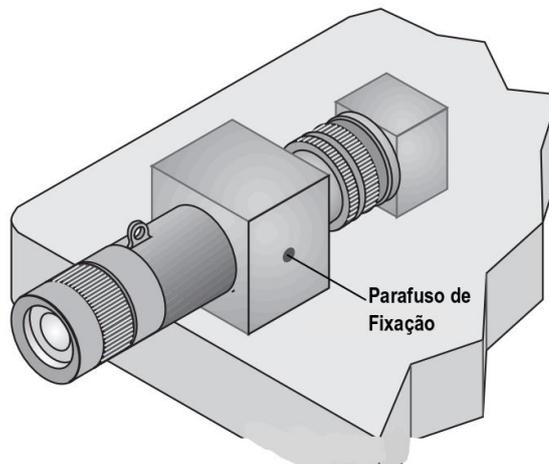


Figura 12: Parafuso de ajuste da ocular de visualização

4. Mova manualmente o escopo de visualização para dentro e para fora através do seu suporte até que o fio de foco entre em foco.
5. Verifique novamente o retículo para garantir que ele ainda esteja alinhado adequadamente com o fio de focagem (como na etapa 2).
6. Bloqueie a luneta de visualização na posição correta, apertando o parafuso de fixação no suporte da ocular de visualização.

Ajustando o alinhamento do retículo horizontal

Se o alinhamento horizontal da ocular de visualização for alterado durante o manuseio grosseiro, realinhe-o usando o seguinte procedimento:

1. Solte um dos dois parafusos de cabeça sextavada na parte inferior da plataforma mostrada na Figura 14.
2. Com o fio de focagem no seu lugar e enquanto olha pela ocular, toque levemente no telescópio de visualização até que o fio de focagem esteja centralizado no retículo.



Apenas um ajuste muito pequeno será necessário. Tenha cuidado para evitar a perda do local exato do fio de focagem.

3. Trave a ocular de visualização em posição, apertando os dois parafusos de cabeça sextavada no suporte da ocular de visualização.

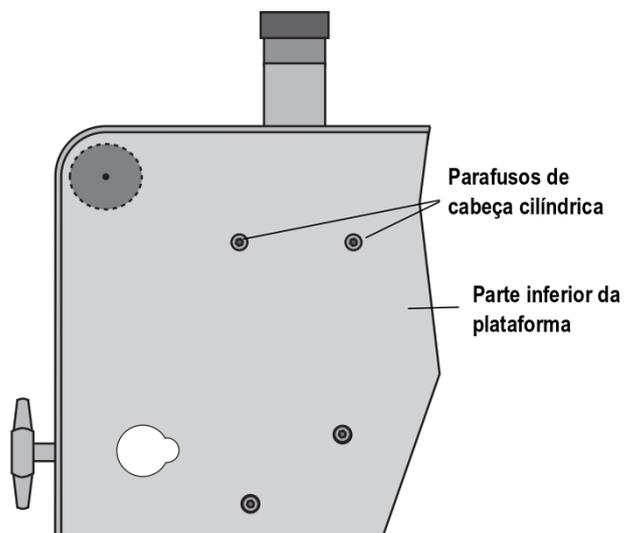


Figura 13: Localização da cabeça do soquete do parafuso que ancoram a ocular de visualização.

Retocar a superfície pintada de preto no espaçador de plástico

Após o uso prolongado e várias limpezas, a tinta preta (Figura 15) que absorve a luz refratada e refletida, o espaçador de plástico pode começar a se desgastar. Nesse caso, pinte a superfície com uma fina camada de tinta de acrílico preta lisa disponível em lojas especializadas. Não use tinta a base de óleo ou tinta spray.



Não permita que a tinta fique entre as superfícies planas superior e inferior do espaçador de plástico, pois alteraria a espessura do espaçador de plástico.

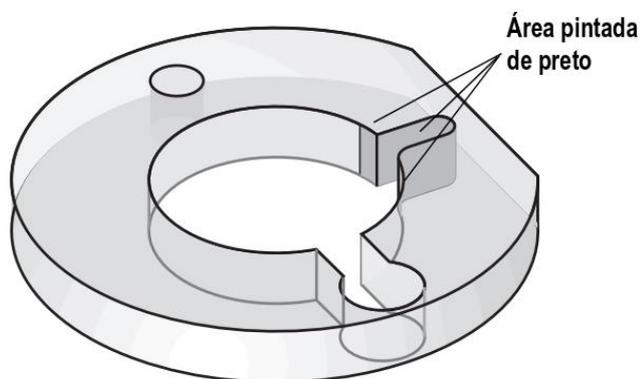
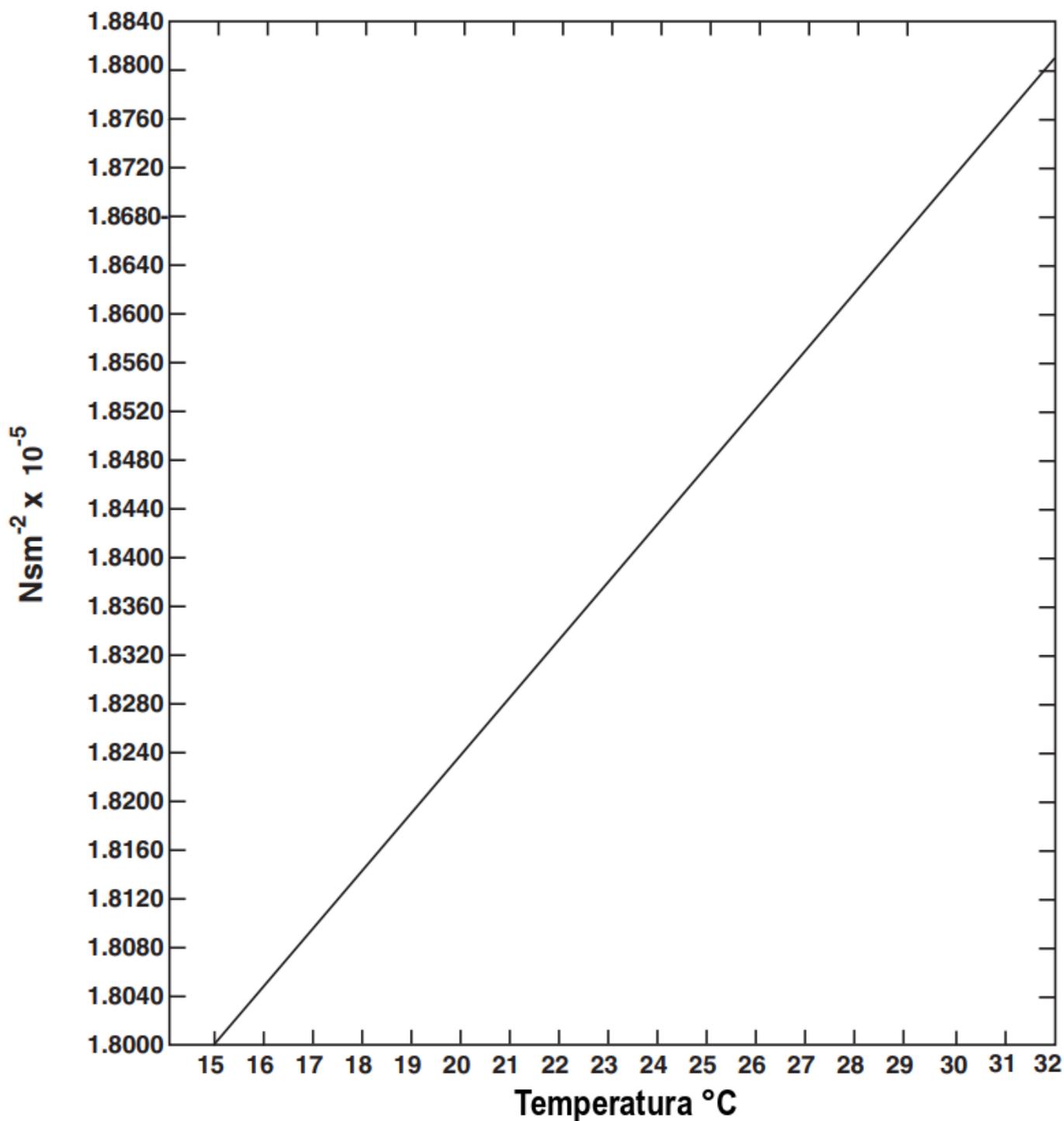


Figura 14: Área no espaçador de plástico que deve ser pintado de preto.

APÊNCIDE 01: Viscosidade do ar seco como Função da Temperatura

Viscosidade do ar seco como uma Função da temperatura



APÊNCICE 02: Tabela de resistência do Termistor

Resistência do termistor do Experimento da Gota de Óleo de Millikan a várias temperaturas.

Tabela de resistência do termistor

°C	X 10⁶ Ω	°C	X 10⁶ Ω	°C	X 10⁶ Ω
10	3.239	20	2.300	30	1.774
11	3.118	21	2.233	31	1.736
12	3.004	22	2.169	32	1.700
13	2.897	23	2.110	33	1.666
14	2.795	24	2.053	34	1.634
15	2.700	25	2.000	35	1.603
16	2.610	26	1.950	36	1.574
17	2.526	27	1.902	37	1.547
18	2.446	28	1.857	38	1.521
19	2.371	29	1.815	39	1.496

Guia do Professor

- NOTA: É melhor que os alunos trabalhem em duplas – um para observar a queda e outro para registrar os dados experimentais.
- NOTA: O nivelamento será mais preciso se o nível de bolha for observado por cima diretamente durante o nivelamento.
- NOTA: Se for necessária mais precisão no nivelamento para impedir que as gotas de óleo gradualmente deslize para um lado durante uma observação prolongada, execute a operação de nivelamento usando um nível bidimensional ou rolamento de esferas colocado diretamente na placa do

Como exemplo de resultados experimentais típicos, as páginas a seguir listados os dados de um professor, usando os seguintes métodos alternativos para calcular a carga de um elétron. O professor mediu a velocidade da gota em movimento com as placas carregadas e usou o procedimento listado abaixo para organizar os dados para cálculo.

Para cada evento de queda da gota de óleo, foi feito o seguinte:

1. Mediu-se a velocidade da queda caindo com as placas não carregadas; a velocidade de ascensão com as placas carregadas.
2. Designou-se uma “carta de medida” para cada evento de cobrança diferente para cada gota de óleo; por exemplo, para a gota 1: 1A, 0 (velocidade da queda caindo com as placas não carregadas), 1B, d (velocidade de queda da gota), 1B, d (velocidade com as placas carregadas da gota), 1C, u, d, e 1D, u, d; para a gota 2: 2A, 0, u, d, 2B, u, d, 2C u, d, e assim por diante.
3. Fez-se a média de todas as medições para uma gota caindo com as placas não carregadas, para uso na determinação de a ;
4. Para cada letra de letra de medida, calculou-se a média das medidas para os casos da gota de óleo subindo e descendo com as placas carregadas;
5. Calculou as medidas médias em cada gota para cada carta de medida (calculando a média das medidas dos casos com a gota subindo e com a gota caindo enquanto as placas estavam carregadas);
6. Listou-se as medidas das cartas de medida em ordem crescente de tamanho e calculou-se a diferença média entre as medidas;
7. Calculou o número de (e) para as gotículas em cada uma das condições de carga dividindo a carga média de cada letra pela diferença média calculada na etapa 5.

Os dados e cálculos para medições em uma gota estão listados nas páginas a seguir.

Dados de amostra

Dados de amostra para o Experimento da Gota de óleo de Millikan: Tensão – 386 V, Temperatura: 28,8 °C.

Tabela 1.3:

Gota #/ Letra de Medida	Distância cronometrada (mm)	Tempo (s)	Direção*
1A	0,5	18,24	0
	0,5	18,56	0
	0,5	19,24	0
	0,5	18,05	0
	0,5	17,23	0
	0,5	15,35	0
	0,5	16,7	0
	0,5	17,99	0
	0,5	15,35	0
	0,5	17,25	0
	0,5	18,38	0
1C	0,5	18,32	0
1D	0,5	16,56	0
	0,5	18,70	0
	0,5	16,56	0
	0,5	33,63	0
	0,5	17,30	0
	0,5	19,06	0
	0,5	18,33	0
	0,5	16,21	0
	0,5	15,36	0
	0,5	15,7	0
	0,5	17,10	0
	0,5	17,30	0
	0,5	17,80	0

* Direção: 0 = Sem campo, U = Subindo, D = Descendo

Dados de amostra para o Experimento da Gota de óleo de Millikan: Tensão – 386 V, Temperatura: 28,8 °C.

Tabela 1.4:

Gota #/ Letra de Medida	Distância cronometrada (mm)	Tempo (s)	Direção*	Tempos Médios (s)
1A	0,5	3,89	U	
	1,5	11,00	U	
	1,5	11,59	U	
	1,5	11,17	U	3,79 U
	0,5	2,6	D	
	1,5	7,84	D	2,64 D
1B	1,5	8,32	U	
	1,5	8,2	U	2,75 U
	1,5	6,2	D	
	1,5	6,02	D	2,04 D
1C	0,5	22,16	U	22,16 D
	1,0	11,56	D	
	1,0	11,64	D	5,80 D
1D	1,0	13,40	U	
	1,5	19,74	U	
	1,0	12,65	U	6,54 U
	1,0	7,48	D	
	1,5	11,32	D	3,76 D
1E	0,5	21,91	U	
	0,5	22,87	U	
	0,5	21,04	U	21,94 U
	1,0	11,84	D	
	1,0	12,72	D	
	1,0	12,59	D	6,20 D

* Direção: 0 = Sem campo, U = Subindo, D = Descendo

1. A Temperatura foi $T = 0,822 \text{ } \Omega = 28,8 \text{ } ^\circ\text{C}$, o que fornece uma viscosidade do ar igual a $1,867 \times 10^{-5} \text{ Ns / m}^2$.

2. Para essa gota, o valor de (a) foi $a = 4,9 \times 10^{-7} \text{ m} \pm 0,2 \times 10^{-7} \text{ m}$.

3. A separação da placa foi de 0,767 cm (0,00767 m) e a tensão aplicada na placa foi de 386 V, o que fornece um campo elétrico de $5,03 \times 10^4$ V/m.

4. A densidade do óleo era de 886 kg/m^3 , o que indica o peso da gota = $mg = 4,26 \times 10^{-15}$ N.

5. A pressão era de $1,01 \times 10^5$ Pa.

Tabela de Resultados

Tabela 1.5:

Gota #/ Letra de Medida	Carga por Subida ($\times 10^{-19}$ C)	Carga por descida ($\times 10^{-19}$ C)	Carga Média ($\times 10^{-19}$ C)
1A	4,72	4,71	4,72
1B	6,18	6,25	6,27
1C	1,51	1,68	1,60
1D	3,09	3,06	3,08
1F	1,52	1,52	1,52

Tabela da Análise Final

Tabela 1.6:

Gota #/ Letra de Medida	Carga Média ($\times 10^{-19}$ C)	Diferença entre cada letra ($\times 10^{-19}$ C)	Número de e = Média da Carga/ Média da Diferença
1E	1,52	D – E = 1,56	1 e
1C	1,60	D – C = 1,48	1 e
1D	3,08	A – D = 1,64	2 e
1A	4,72	B – A = 1,55	3 e
1B	6,27	Média = 1,56	4 e

- A diferença percentual entre a diferença média entre cada carga ($1,56 \times 10^{-19}$ C) é 2,5%
- O raio a foi de $a = 4,9 \times 10^{-7} \text{ m} \pm 0,2 \times 10^{-7} \text{ m}$ ou 4% de erro.
- Os erros de q foram 2% (1A), 2% (1B), 0% (1C) e 4% (1D).

Suporte Técnico

Para obter assistência com qualquer produto PASCO, entre em contato com as PASCO em:

Endereço: PASCO scientific
10101 Foothills Blvd.
Roseville, CA 95747-7100

Site: www.pasco.com

Telefone: +1 916-462-8384 (No mundo todo)
877-373-0300 (EUA)

Email: support@pasco.com

Para obter mais informações sobre o Experimento da Gota de Óleo de Millikan e a revisão mais recente deste manual de instruções, visite no site da PASCO e digite AP-8210^a na janela pesquisar.

Garantia Limitada Para obter uma descrição da garantia do produto, consulte o catálogo PASCO.

Direito Autoral O manual de instruções do *Experimento da Gota de Óleo de Millikan* PASCO 012-13093D possui direitos autorais com todos os direitos reservados. É concedida permissão a instituições educacionais sem fins lucrativos para a reprodução de qualquer parte deste manual, desde que as reproduções sejam usadas apenas em seus laboratórios e em salas de aula e não é vendido com fins lucrativos. Reprodução sob quaisquer outras circunstâncias, sem o consentimento por escrito da PASCO scientific é proibido. Revisado em 07/2019.

Marcas comerciais PASCO e PASCO scientific são marcas comerciais ou marcas registradas da PASCO scientific, nos Estados Unidos e/ou em outros países. Todas as outras marcas, produtos ou nomes de serviços são ou podem ser marcas comerciais ou marcas de serviço e são usados para identificar produtos ou serviços de seus respectivos proprietários. Para mais informações, visite www.pasco.com/legal.

Instruções para eliminação do fim da vida útil do produto:

Este produto eletrônico está sujeito a regulamentos de descarte e reciclagem que variam de acordo com o país e a região. Isto é sua responsabilidade de reciclar seu equipamento eletrônico de acordo com as leis e regulamentos ambientais locais para garantir que será reciclado de maneira a proteger a saúde humana e o meio ambiente. Para descobrir onde você pode deixar seu equipamento usado para a reciclagem, entre em contato com a reciclagem / descarte de lixo local ou o local onde você comprou o produto.

O símbolo WEEE da União Europeia (Resíduos de equipamentos eletrônicos e elétricos) no produto ou na embalagem indica que este produto não deve ser descartado em um recipiente de lixo padrão.

