



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DAYANE CARVALHO CARDOSO

**A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE
FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA**

Uberlândia/MG
2016



DAYANE CARVALHO CARDOSO

A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática, da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Ensino de Ciências e Matemática.

Linha de Pesquisa: Ensino e Aprendizagem em Ciências e Matemática

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Kojoy Takahashi

Uberlândia/MG
2016

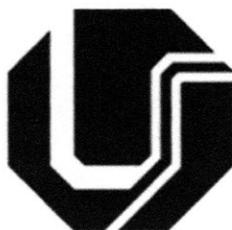
Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da UFU, MG, Brasil.

C268d Cardoso, Dayane Carvalho, 1984-
2016 A descoberta do elétron como tema gerador de um ensino de física
mediado por experimentação remota / Dayane Carvalho Cardoso. - 2016.
164 f. : il.

Orientador: Eduardo Kojy Takahashi.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia,
Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática.
Inclui bibliografia.

1. Ciência - Estudo e ensino - Teses. 2. Física - Estudo e ensino -
Teses. 3. Prática de ensino - Formação de professores - Teses. 4. Física -
Formação de professores - Teses. I. Takahashi, Eduardo Kojy. II.
Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em
Ensino de Ciências e Matemática. III. Título.

CDU: 50:37



DAYANE CARVALHO CARDOSO

A DESCOBERTA DO ELÉTRON COMO TEMA GERADOR DE UM ENSINO DE FÍSICA MEDIADO POR EXPERIMENTAÇÃO REMOTA

Dissertação apresentada como requisito para obtenção do grau de Mestre em Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática da IES Universidade Federal de Uberlândia, sob apreciação da seguinte Banca Examinadora:

Aprovado em 20 de janeiro de 2016

Prof. Dr. Eduardo Kojima Takahashi - Orientador (UFU)

Prof. Dr. João Bosco da Mota Alves (UFSC)

Prof. Dr. Arlindo José de Souza Júnior (UFU)

Dedico esta dissertação ao meu filho, Mateus, que me acompanhou nessa jornada, e ao meu orientador, que é meu maior incentivador e inspirador.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador, por toda ajuda, apoio e amizade durante esses onze anos de orientação.

Ao meu marido, por estar sempre ao meu lado em todas as minhas batalhas.

Aos meus pais, pelo incentivo.

Aos meus colegas Adilmar, Rener, Maycon, Thiago e Hermes, por toda ajuda no desenvolvimento desse projeto.

Aos alunos que nos receberam e se empenharam na aplicação deste trabalho.

À CAPES e FAPEMIG pelo apoio financeiro.

RESUMO

Neste trabalho, propusemos e aplicamos uma metodologia para o ensino de Eletromagnetismo com base em uma atividade experimental em um modelo de ensino investigativo, com um alto grau de dialogismo entre professores e estudantes. Utilizamos como tema gerador a descoberta do elétron e como recurso pedagógico um experimento remoto para determinar a razão carga/massa do elétron. Nossas análises indicam favoravelmente no sentido da promoção de maneiras de apropriação do conhecimento, pelo estudante, muito diferentes daquelas percebidas em aulas expositivas tradicionais. Da mesma forma, é possível identificar que a presença de um recurso tecnológico e de uma atividade experimental estabelece uma nova postura do professor perante os alunos, provavelmente ocasionada pela imprevisibilidade dos resultados decorrentes do uso de tais recursos. Um desafio que ainda precisamos solucionar é como envolver os alunos em tarefas extra sala de aula, uma vez que a aprendizagem não se efetiva apenas no tempo destinado às aulas. Também apresentamos as fragilidades detectadas em nossa proposta metodológica, assim como implementações necessárias para a continuidade do processo de validação dessa metodologia.

Palavras-chave: Experimentação Remota. Ensino Investigativo. Descoberta do Elétron. Sequência Didática.

ABSTRACT

In this work, we have proposed and applied a methodology for teaching electromagnetism, based on an experimental activity and designed in an investigative teaching model, and containing a high degree of dialogism among teachers and students. We have used the discovery of the electron as a generator theme and a remote experiment to determine the charge-to-mass ratio of the electron as an educational resource. Our analyses indicate favorably towards the promotion of ways of appropriation of knowledge by the student, very different from those perceived in traditional expositive classes. Similarly, we find that the presence of a technological resource and an experimental activity create new posture of the teacher in the classroom, probably caused by the unpredictability of the results from the use of such resources. A challenge that we still need to solve is how to engage students in extra classroom tasks, since learning is not only effective in time for classes. We also present the weaknesses detected in our methodological proposal as well as implementations necessary in order to continue the validation process of this methodology.

Key words: Remote Experimentation. Investigative Teaching. Electron Discovery. Didactic Sequence.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Esquema de um laboratório de Experimentação Remota	17
Figura 2 - Experimentos remotos em Mecânica e os respectivos autores	21
Figura 3 - Experimentos remotos em Óptica e os respectivos autores	21
Figura 4 - Experimentos remotos em Eletromagnetismo e os respectivos autores...	22
Figura 5 - Experimentos remotos em Termodinâmica e os respectivos autores	22
Figura 6 - Experimentos remotos em Física Moderna e os respectivos autores	24
Figura 7 - Fases da criação de uma sequência didática	32
Figura 8 - Modelo para uma sequência de ensino-aprendizagem.....	33
Figura 9 - Categorias do domínio cognitivo segundo Bloom e colaboradores	36
Figura 10 - Categorias do domínio cognitivo da taxonomia revisada	39
Figura 11: Multímetros funcionando como (a) amperímetro e (b) voltímetro.....	117
Figura 17: Página contendo uma foto panorâmica de um laboratório de Física com o experimento	132

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Comparação entre Experimento Hands-on e Experimento Remoto	19
Quadro 2 - Estruturação da Taxonomia de Bloom	36
Quadro 3 - Processos cognitivos da taxonomia revisada.....	39
Quadro 4 - Objetivos de Aprendizagem	43
Quadro 5 - Cronograma de Aulas	45
Quadro 6 - Respostas dos grupos à Questão 1	46
Quadro 7 - Respostas dos grupos à Questão 2	46
Quadro 8 - Respostas dos grupos à Questão 3	46
Quadro 9 - Respostas dos grupos à Questão 4	46
Quadro 10 - Análises do Professor da Disciplina e nossas análises.....	85

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	9
1 EXPERIMENTAÇÃO REMOTA.....	17
2 REFERENCIAIS TEÓRICOS	25
2.1 O ENSINO INVESTIGATIVO	25
2.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS INVESTIGATIVAS.....	28
2.3 SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM.....	31
2.4 OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM.....	33
2.4.1 A Taxonomia de Bloom	34
3 METODOLOGIA DE PESQUISA	41
4 RELATO DA APLICAÇÃO E ANÁLISES.....	43
4.1 RELATO DA PRIMEIRA AULA	44
4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRIMEIRA AULA	47
4.2.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	47
4.2.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	47
4.3 RELATO DA SEGUNDA AULA	48
4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEGUNDA AULA	51
4.4.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	51
4.4.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	51
4.5 RELATO DA TERCEIRA AULA.....	52
4.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TERCEIRA AULA.....	56
4.6.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	56
4.6.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	57
4.7 RELATO DA QUARTA AULA.....	58
4.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUARTA AULA.....	61
4.8.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	61
4.8.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	62

4.9 RELATO DA QUINTA AULA	63
4.10 CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUINTA AULA	67
4.10.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	67
4.10.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	68
4.11 RELATO DA SEXTA AULA	69
4.12 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEXTA AULA	70
4.12.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	70
4.12.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	70
4.13 RELATO DA SÉTIMA AULA	71
4.14 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SÉTIMA AULA	74
4.14.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	74
4.14.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	75
4.15 RELATO DA OITAVA, NONA, DÉCIMA E DÉCIMA PRIMEIRA AULAS.....	76
4.16 CONSIDERAÇÕES SOBRE A OITAVA, NONA, DÉCIMA E DÉCIMA PRIMEIRA AULAS	82
4.16.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo	82
4.16.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática	84
4.17 CONSIDERAÇÕES DO PROFESSOR DA DISCIPLINA	85
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	89
REFERÊNCIAS	94
APÊNDICES.....	97
ANEXOS	151

INTRODUÇÃO

Nessa introdução, contarei um pouquinho da minha história para mostrar como ocorreu minha aproximação ao tema desse trabalho.

Em 2004, já tendo cursado um ano de graduação em Física - Licenciatura, meu rendimento acadêmico havia caído bastante devido ao meu trabalho em uma empresa de *call center*. O trabalho estava me consumindo, pois passava muito tempo atendendo clientes insatisfeitos, que reclamavam muito. Resolvi, então, deixar o trabalho, mas não estava gostando da ideia de ficar sem um rendimento financeiro. Foi então que descobri que era possível ganhar bolsa de estudo pela participação em trabalhos junto a grupos de pesquisa na universidade. O que eu não sabia era que demoraria dois anos para conseguir a primeira bolsa; isso não estava nos meus planos.

Uma colega da faculdade estava participando de um grupo que havia acabado de ser criado. Era um grupo de pesquisa em Ensino de Física que continha apenas três integrantes: o Prof. Dr. Eduardo Kojy Takahashi e dois alunos da graduação, Sorandra Correa de Lima e Rodrigo Ferreira de Moraes.

Não conhecia quase nada a respeito de grupos de pesquisa e, depois de uma conversa com o professor Eduardo, a área de ensino de Física me pareceu a mais atraente, pois percebia a dificuldade que a maioria dos alunos possuía para aprender Física e acreditava que a pesquisa em ensino de Física teria potencial para auxiliar muitos estudantes. Além disso, eu acreditava que nessa área teria mais oportunidades profissionalmente. Mas, de qualquer forma, nunca imaginei que seria professora, pois sou muito tímida e a ideia de falar em público sempre me aterrorizava. Entretanto, como meu futuro profissional ainda estava longe, teria muito tempo para decidir o que fazer.

Assim, comecei a participar, como estudante de iniciação científica, do Núcleo de Pesquisa em Tecnologias Cognitivas - Nutec, grupo liderado pelo professor Eduardo. No início, desenvolvi trabalhos sobre confecção de mapas conceituais no processo de aprendizagem de Física. O grupo estava iniciando interações com pesquisadores da área de Educação - realizava estudos sobre esse tema naquele momento - e me foi sugerido, pelos pesquisadores, o engajamento nesses estudos. A principal preocupação era discutir metodologias de ensino de Física que utilizassem os mapas conceituais como ferramentas para a construção do

conhecimento na área.

Mais tarde, comecei a estudar e desenvolver trabalhos sobre o emprego da Técnica de Resolução de Problemas no processo de ensino-aprendizagem de Física, que acabou sendo o assunto da minha monografia. Na época, o grupo já possuía mais integrantes, como a Prof.^a Dr.^a Elise Barbosa Mendes, da Faculdade de Educação e um aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Luciano Ferreira Silva, que era coorientado pela Prof.^a Elise. Para diversificar as pesquisas do grupo e auxiliar no trabalho do Luciano, a professora Elise sugeriu que começássemos a pesquisar sobre a Técnica de Resolução de Problemas.

De 2005 a 2009, eu e meu orientador de iniciação científica, o professor Eduardo, desenvolvemos vários trabalhos relacionados ao tema e os apresentamos em diversos eventos científicos ocorridos no Brasil.

Até a entrada do Luciano no grupo, eu ainda não havia presenciado ou trabalhado com tecnologias voltadas ao ensino. O Luciano construiu diversos objetos de aprendizagem e com alguns deles era possível construir circuitos elétricos em paralelo ou em série, utilizando resistores e capacitores virtuais. Foi quando descobri, a partir das representações virtuais dos dispositivos eletrônicos, o que era um resistor e um capacitor na vida real. Já havia cursado o ensino médio, estava praticamente no meio do curso de graduação e percebi o absurdo de não possuir sequer um modelo mental de um dispositivo eletrônico real.

Desde então, passei a considerar que isso era uma falha muito grave do curso de Física. Nós aprendíamos tudo na teoria, e tudo era muito difícil, mas na prática não reconhecíamos sequer alguns dispositivos básicos - que eram objetos de estudo - e não sabíamos como funcionavam. Se nos fossem entregues alguns fios e alguns componentes eletrônicos, a maioria de nós não conseguia reproduzir na prática o que aprendia na teoria, ou seja, não conseguiria montar um circuito real.

Assim que finalizei a graduação, na metade de 2007, o Instituto de Física abriu um processo seletivo para a contratação de professor substituto. Meu orientador sugeriu que eu participasse do processo seletivo. Achei que ele estava doido, pois eu não falava em público, tinha muita vergonha, nunca tinha dado aula e ele queria que eu comesse a dar aula justamente no ensino superior? Mas, me inscrevi para as provas e, para minha surpresa, fui aprovada em segundo lugar, dentre doze candidatos, alguns já com experiência didática e outros, com título de

mestre. Foi então que comecei a me apaixonar pela profissão. Pensei: “se eu consegui ser aprovada em segundo lugar, poderia ser boa nisso”.

O início foi muito difícil e constituiu-se em um novo desafio, mas desafios me motivam. Mas vários questionamentos me angustiavam: como eu faria para dar aula? Como é ser professora? Como eu preparo uma aula? Como ser uma boa professora? Eu era licenciada, mas não tinha conhecimentos de como ser professora. Decidi que iria me espelhar nos meus melhores professores e tentaria fazer como eles. Até assim foi muito difícil, mas era a minha melhor chance. De qualquer forma, minhas aulas foram bastante tradicionais e, apesar de ter cursado disciplinas pedagógicas relacionadas ao ensino e aprendizagem e ter realizado pesquisas sobre novas metodologias de ensino de Física na iniciação científica, eu não sabia como usar o que tinha aprendido. E como meus professores tinham uma postura de ensino tradicional, acabei sendo tradicional também. Tentava inovar um pouco com base no que havia aprendido, mas achava muito difícil, pois não sabia como fazer.

Meu contrato com a UFU terminou no final de 2008 e eu ainda estava participando do NUTEC. Por sugestão do meu orientador, no início de 2009, me inscrevi em um curso de especialização em ensino de Ciências na Faculdade de Educação da UFU.

Nessa época, o NUTEC havia programado uma visita técnica ao Laboratório de Experimentação Remota (RexLab) da Universidade Federal de Santa Catarina, em Araranguá. O RexLab possuía alguns experimentos reais de Física que poderiam ser manipulados a distância, via internet.

Fui fortemente influenciada pelos pesquisadores do RexLab a trabalhar com experimentação remota e notei o potencial desse tipo de laboratório para ser utilizado com alunos do ensino básico que possuem, ainda hoje, muita carência de aulas experimentais nas escolas. O grupo de pesquisadores que criou o RexLab era formado basicamente por engenheiros e cientistas da computação e percebemos que eu poderia contribuir com propostas de metodologias de ensino para serem usadas em conjunto com a experimentação remota. Assim se deu meu envolvimento com a experimentação remota em Física.

Decidimos, então, como início de aprendizagem e de parceria técnico-científica com o RexLab, desenvolver um experimento remoto que não existisse naquele laboratório.

Assim, surgiu a primeira dificuldade. Nós não tínhamos, no início, pessoal no Nutec com conhecimentos técnicos que nos auxiliasse a transformar um experimento comum em um experimento remoto. Enquanto negociávamos com o Instituto de Física da UFU a cessão de um kit experimental de Física e procurávamos montar uma equipe que pudesse desenvolver a parte técnica relacionada à disponibilização do experimento remotamente, realizamos um trabalho relacionado ao uso da experimentação remota voltado ao ensino de Ciências. Em 2010, finalizei meu trabalho intitulado “Experimentação Remota em Atividades de Ensino Formal: um Estudo a partir de Periódicos Qualis A”, o qual foi publicado na Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências, em 2011.

Terminei a especialização no meio do ano de 2010, mas no final de 2009 já havia começado a ministrar aulas no ensino médio, em uma escola particular, e no início de 2010, comecei a lecionar em escolas públicas também. Ministrei aulas de Física para alunos do 9º ano do ensino fundamental ao 3º ano do ensino médio. Essa minha experiência nas escolas foi muito frustrante. Nas escolas particulares eu não podia trabalhar de forma diferenciada, deveria seguir a metodologia da escola. Nas escolas públicas eu tinha um pouco mais de liberdade, mas praticamente não existiam recursos para inovações instrumentais. De qualquer forma, eu sempre tentava ministrar aulas um pouco diferentes daquelas praticadas no ensino tradicional, mesmo ainda não sabendo bem como melhorar o ensino de forma significativa e como trabalhar de tal maneira que os alunos se interessassem mais pela matéria.

Porém, o desinteresse e despreparo dos alunos eram tão grandes que me senti muito desestimulada. Além disso, eu era cobrada, pela Direção ou Coordenação das escolas, para ensinar fórmulas e resolver exercícios. Percebi que os conceitos físicos e outros aspectos relevantes, como a importância da Física, a presença da Física no cotidiano e a história da Física, praticamente não eram ensinados. Além disso, apesar de muitas escolas possuírem computadores disponíveis para os alunos, esses equipamentos praticamente não eram usados ou eram usados com uma metodologia pouco adequada para a aprendizagem na área.

Em outubro de 2011, passei novamente em outro processo seletivo e voltei a ministrar aulas na UFU, como professora temporária, dessa vez, para o curso de Biologia. Fiquei muito animada, pois não precisaria me preocupar tanto com o uso de fórmulas e poderia explorar vários aspectos da Física na Biologia. Porém, fiquei

muito apreensiva, pois sabia que a maioria dos alunos de Biologia possuía muita dificuldade em Física e não se interessava pelo conteúdo e nem entendia por que deveria estudar essa matéria no curso de Biologia.

Nessa segunda vez, ministrei aulas muito diferentes do que na primeira. Já possuía mais experiência e mais ideias. Pesquisei e estudei bastante sobre a relação da Física com a Biologia e sobre a história da Física. Para preparar as aulas, em todos os conteúdos de Física eu procurava fazer relações com conteúdos de Biologia e sempre procurava preparar problemas e exercícios relacionados também. Durante as aulas eu sempre tentava promover discussões e resgatar o que o aluno já sabia sobre o conteúdo. Fui bastante elogiada pelos alunos, gostei da forma que ministrei as aulas e do retorno que obtive dos alunos.

Ao mesmo tempo em que era professora na UFU, continuava como professora nas escolas da Educação Básica também. Mas continuava desanimada, pois não conseguia obter o mesmo resultado com os alunos das escolas. Por mais que tentasse, eu não conseguia motivar e interessar os alunos.

Comecei a me questionar por que é tão difícil fazer algo diferente, fugir do tradicional, utilizar novas metodologias e recursos didáticos no ensino. Passei alguns anos fazendo licenciatura, pesquisando sobre o assunto, fazendo especialização e sendo professora e, apesar da minha vontade e disposição, considero que ainda é difícil. Hoje, acredito que se tivesse tido aulas diferentes das tradicionais eu não teria tanta dificuldade. Acredito que, se os formadores de futuros professores ministrassem aulas da forma que eles dizem que devem ser ministradas na Educação Básica, seria muito mais fácil mudar a maneira de ensinar Física. Ou seja, não são apenas os professores dos ensinos médio e fundamental que devem mudar suas metodologias de aula; os professores universitários, também. Desde que nascemos, aprendemos pelo exemplo e acredito que essa seja a melhor forma de se ensinar. Assim, nasceram a minha preocupação e o meu envolvimento com as questões metodológicas para ensinar Física, dentro de uma concepção de ensino que estimule o aluno a buscar o conhecimento por meio de atividades investigativas e com uso de práticas experimentais.

O ensino de Física ainda se apresenta fortemente resistente à incorporação de novos métodos didáticos, mantendo uma característica pedagógica de muitas décadas. Assim, nesse trabalho, acho relevante pontuar o termo “ensino tradicional” para destacar aspectos prevaletentes nesse ensino e que, a meu ver, ainda

precisam ser sensibilizados em direção à incorporação de novas metodologias de ensino-aprendizagem.

Dessa forma, em conjunto com o meu orientador, idealizamos o produto educativo que apresentamos no Apêndice A deste trabalho. Refere-se a uma proposta de sequência didática para o ensino de Eletromagnetismo a estudantes do Ensino Médio, com base no ensino investigativo e utilizando a experimentação remota como recurso didático-pedagógico. Assumimos para tal as seguintes premissas:

- é necessário apontar ao professor da Educação Básica como integrar, no seu planejamento curricular regular, algumas propostas inovadoras no processo de ensino-aprendizagem de Física, de tal forma a buscar a consolidação de uma sequência didática diferente das atuais;
- uma sequência didática inovadora deve conter elementos do ensino investigativo e da experimentação como recursos mobilizadores de um pensamento científico mais complexo;
- a experimentação remota se apresenta como uma estratégia para superar as dificuldades de implantação, acesso e manutenção de um laboratório de Física nas escolas;
- o estudante deverá estabelecer uma nova postura em sala de aula e um novo relacionamento com o conteúdo da matéria para poder se apropriar dos conhecimentos trabalhados com o uso do computador e do experimento remoto.

Sabemos que o processo de validação de um novo desenho instrucional passa por diversas etapas recursivas até se tornar pedagogicamente adequado. Assim, a sequência didática apresentada no Apêndice A deste trabalho constitui apenas a primeira iteração do processo de validação e os resultados dessa e de futuras aplicações deverão constituir apontamentos de melhoria para as aplicações sucessivas, até a sua validação final.

Nesse sentido, a pergunta de pesquisa que formulamos é: como desenvolver e validar um método de ensino para o uso da experimentação remota em Física, fundamentado no ensino por investigação e integrado ao planejamento curricular do ensino médio?

Embora existam vários experimentos remotos de Física acessíveis na internet, são praticamente inexistentes propostas metodológicas que possam auxiliar o professor a fazer um bom uso desses recursos didáticos. Assim, este trabalho procura contribuir nesse sentido.

O ensino experimental tradicional prioriza a observação do fenômeno e a realização de um roteiro experimental, que, geralmente, é constituído por uma série de passos previamente elaborados pelo professor ou especialista (FERREIRA; HARTWIG; OLIVEIRA, 2010). Naquele tipo de abordagem o estudante participa das etapas da experimentação de uma forma mecânica sem, por exemplo, questionar, argumentar, levantar hipóteses e investigar o fenômeno estudado. Trazemos outra concepção para esse tipo de atividade experimental em nossa proposta, com uma natureza investigativa (Hernandes; Clement; Terrazan, 2004).

Para Lewin e Lomáscolo (1998), uma atividade experimental investigativa

[...] favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes tais como curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas afirmações, a confrontar resultados, a obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais (LEWIN; LOMÁSCOLO, 1998, p. 148).

Desse modo, o objetivo geral deste trabalho é propor e validar um método de ensino para o uso da experimentação remota em Física que contemple os objetivos educacionais do ensino por investigação.

Com o intuito de abranger esse objetivo, propomos os seguintes objetivos específicos:

- Apresentar uma proposta metodológica, fundamentada no ensino por investigação, para o uso do experimento remoto relacionado ao tema da descoberta do elétron;
- Aplicar a proposta metodológica no 3º ano do ensino médio de uma escola pública;
- Analisar a aplicação da proposta metodológica segundo os objetivos educacionais propostos, a viabilidade da sua incorporação no planejamento curricular do ensino médio e a apropriação da mesma pelo professor da disciplina.

Para tanto, propomos uma sequência didática para o ensino de Eletromagnetismo, com auxílio do experimento para a determinação da razão carga/massa do elétron que, historicamente, consistiu na descoberta dessa partícula. A importância da utilização desse experimento também é reforçada pelo fato de que o próprio aparato experimental exhibe fenômenos eletromagnéticos de interesse para o estudo na Educação Básica, como a produção de campo magnético por corrente elétrica, a ação de campo elétrico para acelerar partículas carregadas, o efeito do campo magnético sobre partículas carregadas etc.

A estrutura desta monografia está organizada da seguinte maneira: no Capítulo 1 descrevo a conceituação de experimentação remota e sua diferença em relação à experimentação presencial (*hands on*) e enumero os experimentos remotos em Física disponíveis no mundo; no Capítulo 2 apresento os referenciais teóricos que embasaram este trabalho; no Capítulo 3 descrevo a metodologia de pesquisa; no Capítulo 4 relato a aplicação da proposta metodológica e as análises dessa aplicação e, por fim, no Capítulo 5 aponto algumas reflexões para a reformulação da sequência didática como considerações finais.

1 EXPERIMENTAÇÃO REMOTA

Dentre as diversas pesquisas desenvolvidas na área da Educação, que apontam potenciais recursos para o processo de ensino e aprendizagem, os Laboratórios de Experimentação Remota (ou WebLabs) surgem como algo novo e promissor, com tendência a se tornarem instrumentos muito eficientes para compartilhar experimentos (NARDI; GATTI, 2004).

Esses laboratórios representam uma grande evolução no conceito de inclusão digital, uma vez que eles permitem que os alunos acessem equipamentos instalados em laboratórios de muitas instituições de ensino, alguns deles complexos e relativamente caros.

O Laboratório de Experimentação Remota é uma aplicação educacional que permite aos alunos buscar informações no mundo real a partir de um computador com acesso à internet (SCHUHMACHER et al., 2004). “Nele se permite executar ações em dispositivos externos ao computador que está sendo acessado, ainda que controlados pelo mesmo (SCHUHMACHER et al., 2004, p.3)”.

De forma geral, um laboratório remoto oferece o acesso a equipamentos, bancadas e experimentos do laboratório por meio de um computador conectado à Internet (Figura 1).

Figura 1 - Esquema de um laboratório de Experimentação Remota



Fonte: A autora

O computador do usuário pode acessar o servidor web através da Internet, buscar informações detalhadas sobre a natureza do experimento e executá-lo. O servidor web permite ao usuário o acesso ao laboratório, o controle dos dispositivos e a obtenção dos resultados do experimento. A interface programável possui

basicamente duas funções: interpretar os dados obtidos dos experimentos para que o servidor web possa repassar para o usuário e interpretar o comando do usuário para que ele seja executado no aparato experimental. Na maioria dos casos, são incluídas câmeras para a visualização do experimento.

Um aluno poderá acessar o laboratório remoto de sua residência, de seu trabalho ou de qualquer lugar que possua um computador com acesso à Internet. Um dos objetivos do laboratório é permitir aos estudantes maior liberdade para a organização do seu tempo de estudo e de uso do equipamento do que teriam em um laboratório real, com aulas presenciais.

De acordo com Johnston e Agarwal, citados por Silva (2006, p.128), um Laboratório de Experimentação Remota deve apresentar os seguintes requisitos:

- Controle remoto e monitoramento dos experimentos.
- Comunicações multimídia entre os usuários.
- Um caderno de notas digital com todas as facilidades para introdução de dados, arquivos, figuras, buscas, etc.
- Gestão dos recursos, para decidir adequadamente que usuário ou usuários podem acessar a cada um dos experimentos disponíveis.
- Segurança tanto no aspecto de permitir e negar acesso como nos recursos para gerir possíveis falhas do sistema.
- Diversos tipos de comunicação: Voz, imagem, dados, resultado de experimentos, estado dos experimentos.
- Largura de banda: Adequada para permitir as distintas comunicações de dados científicos como de imagens ou vídeo.

Silva (2006, p. 135) enfatiza que um laboratório remoto possui grandes vantagens para as instituições de ensino, como:

Maior utilização dos equipamentos do laboratório. Ao estarem disponíveis os equipamentos 24 horas por dia, 365 dias ao ano seu rendimento é maior.

Organização de laboratórios. Não é necessário manter abertos os laboratórios a todas as horas, basta com que estejam operacionais.

Organização do trabalho dos alunos. Com os laboratórios remotos os alunos e professores podem organizar melhor seu tempo, de maneira similar aos horários de aulas.

Aprendizagem autônoma. Os laboratórios remotos fomentam o trabalho autônomo, que é fundamental no modelo atual de educação superior.

Abertura a sociedade. Os laboratórios remotos podem ser colocados a disposição da sociedade.

Cursos não presenciais. Possibilitam a organizar cursos totalmente não presenciais, evitando muitos dos problemas atuais.

Inserção dos usuários em um contexto real.

E que a Experimentação Remota busca resolver os problemas de acesso aos laboratórios clássicos, com o objetivo de:

- Incrementar as atividades práticas em um curso (de forma que os alunos

possam acessar a eles em qualquer horário, não somente quando esteja aberto o centro para temas docentes),

- Reduzir os custos de gestão e manutenção dos laboratórios (ao aumentar o uso em qualquer horário aos mesmos com um pessoal menor),
- Permitir o uso dos mesmos desde qualquer ponto geográfico de forma que se reduzam ou minimizem os custos de deslocamento, assim como a qualquer hora, permitindo desta forma resolver o problema dos fusos horários com outras zonas geográficas, e,
- Integrar em um mesmo ambiente as aplicações docentes das práticas, experimentação e trabalho no laboratório, com as atividades propriamente docentes mediante a integração de materiais, simulações e acesso a equipamentos e dispositivos (SILVA, 2006, p. 121).

Além disso, um laboratório remoto pode ser disponibilizado em cursos e disciplinas de Educação a Distância (EaD), sendo que aulas práticas são essenciais para o ensino de Física e alguns cursos on-line já as exigem. A educação a distância se apresenta como uma possibilidade para os alunos que necessitam de sistemas de ensino-aprendizagem mais flexíveis e adaptativos, sem limitações espaciais ou temporais.

Um quadro comparativo entre um experimento *hands-on* e um experimento remoto encontra-se no Quadro 1.

Quadro 1 - Comparação entre Experimento Hands-on e Experimento Remoto

Experimento Hands-on	Experimento Remoto
A situação física é real, não idealizada	A situação física é real, mas com algum grau de idealização
O usuário manipula de forma direta o artefato real	O usuário manipula o artefato real de forma indireta, por meio de um computador conectado à internet
Apresenta o resultado real, independente da crença do usuário	Apresenta o resultado real, mas o usuário deve acreditar que está manipulando um artefato real
Os resultados de uma ação não são programados e sempre apresentam incertezas; como consequência exibem sempre um resultado ligeiramente diferente	Os resultados de uma ação não são programados e sempre apresentam incertezas; como consequência exibem sempre um resultado ligeiramente diferente
O experimento é construído de tal forma a não colocar o usuário em riscos físicos, mas eles podem acontecer em caso de má utilização	O experimento é construído de tal forma a não colocar o usuário em riscos físicos, evitando a sua má utilização
A integridade do artefato não é totalmente preservada	A integridade do artefato é totalmente preservada
A quantidade de controles é limitada pelo aparato experimental	A quantidade de controles é limitada pelo ambiente virtual de acesso ao experimento

É possível permitir a montagem e desmontagem real do aparato experimental pelo usuário	É possível programar a montagem e desmontagem virtual do aparato experimental pelo usuário
O experimento real só pode ser utilizado no laboratório em que se encontra e em momentos específicos pelo usuário	O experimento real pode ser utilizado de qualquer lugar e a qualquer momento pelo usuário
Independente de tecnologia de informação e comunicação	Dependente de tecnologia de informação e comunicação

Fonte: A autora

Diversos trabalhos voltados à experimentação remota para o ensino de Física podem ser encontrados na literatura. As Figuras 2, 3, 4, 5 e 6 apresentam, respectivamente, citações de experimentos remotos em Mecânica, Óptica, Eletromagnetismo, Termodinâmica e Física Moderna e Contemporânea encontrados na literatura.

Apesar de existir uma grande quantidade de experimentos remotos disponíveis, dificilmente encontramos algum material de apoio pedagógico para a utilização desses experimentos, além de roteiros experimentais e manuais de instruções.

Nesse mesmo sentido, em nossos trabalhos anteriores

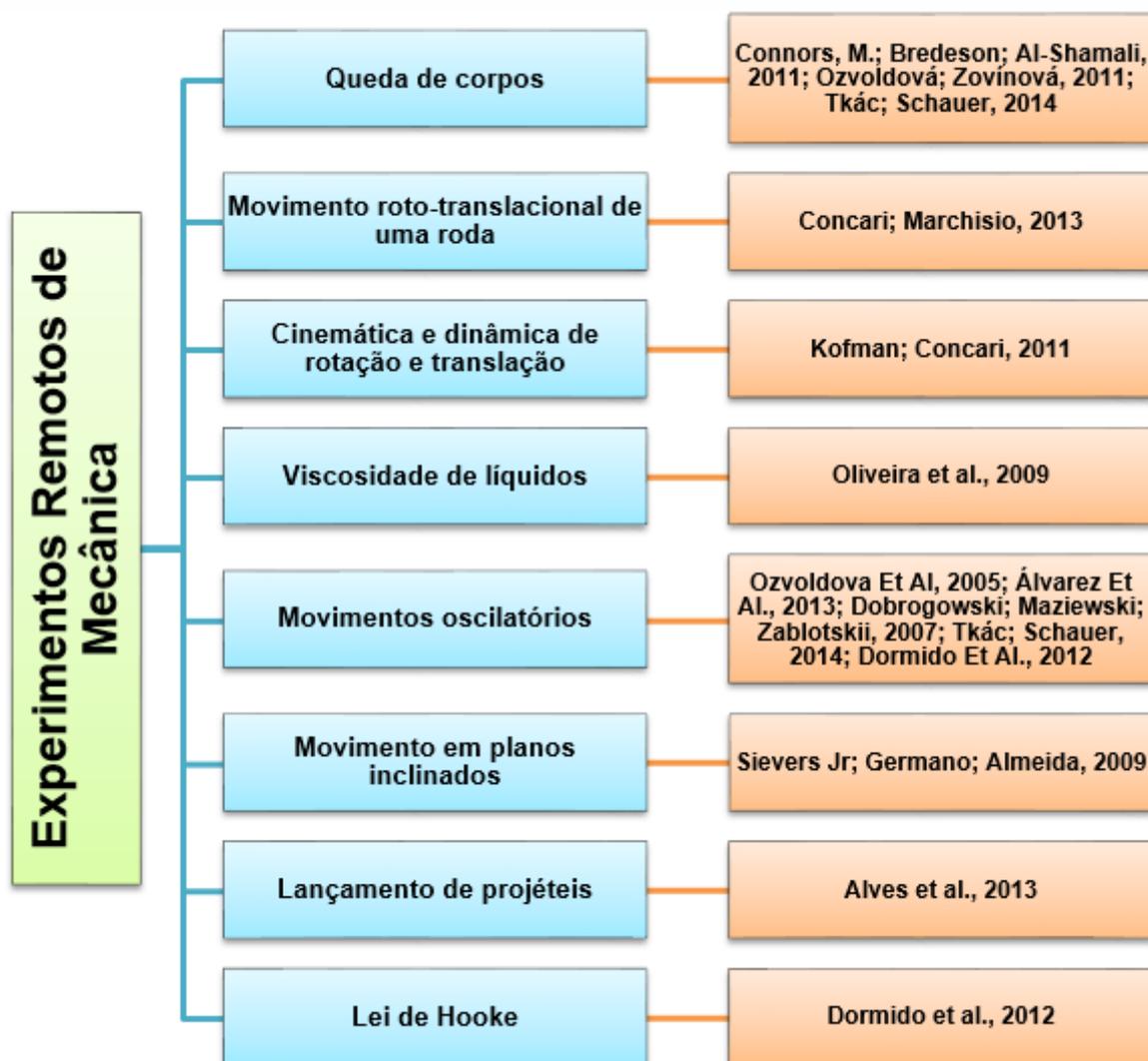
[...] não encontramos relatos de pesquisa sobre como o acesso remoto a experimentos reais pode incrementar o processo de ensino e aprendizagem de Física e de que forma isso pode ser feito. Vimos que a Experimentação Remota associada ao ensino de ciências, no Brasil e no mundo, ainda é um campo muito novo e pouco explorado. As eventuais limitações na utilização desta ferramenta de ensino devem ser estudadas de forma aprofundada e uma metodologia adequada deve ser explorada para suprir as necessidades de uma aula prática (CARDOSO; TAKAHASHI, 2011, p. 202).

No entanto, para tornar possível o uso regular da experimentação remota na educação formal temos que considerar vários aspectos, dentre eles, a formação de professores para usar essa tecnologia e a possibilidade de proporcionar o acesso a experimentos de laboratório a um baixo custo. Além disso, os laboratórios de experimentação remota ainda precisam de uma quantidade maior de pesquisas sistemáticas sobre suas reais potencialidades, particularmente, na aprendizagem significativa em Física, pois “as aplicações das TICs em contextos educativos sugerem que os laboratórios realizados através do uso da Internet podem fornecer mais oportunidades para experiências de laboratório e melhorar o método de ensino” (OMID, SAJJADIYE e ALIMARDANI, 2008, p.10, tradução nossa).

Assim, no próximo capítulo apresentamos os referenciais teóricos que

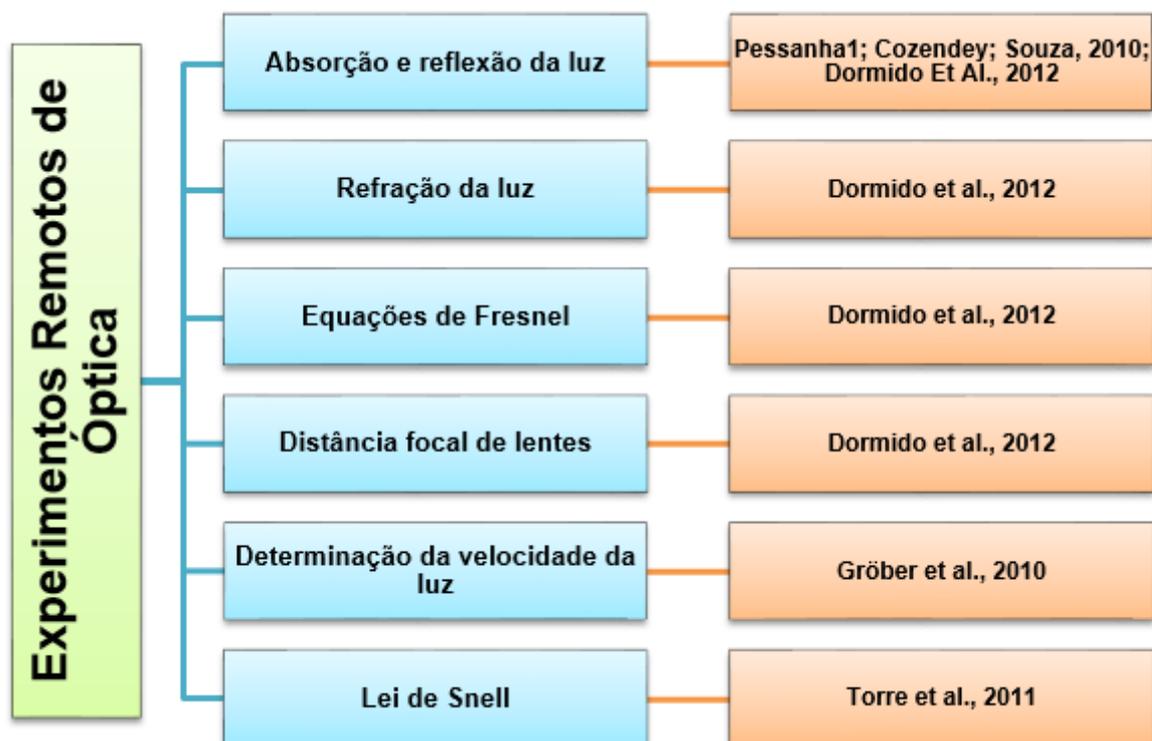
subsidiaram a nossa proposta metodológica para o uso da experimentação remota.

Figura 2 - Experimentos remotos em Mecânica e os respectivos autores



Fonte: A autora

Figura 3 - Experimentos remotos em Óptica e os respectivos autores



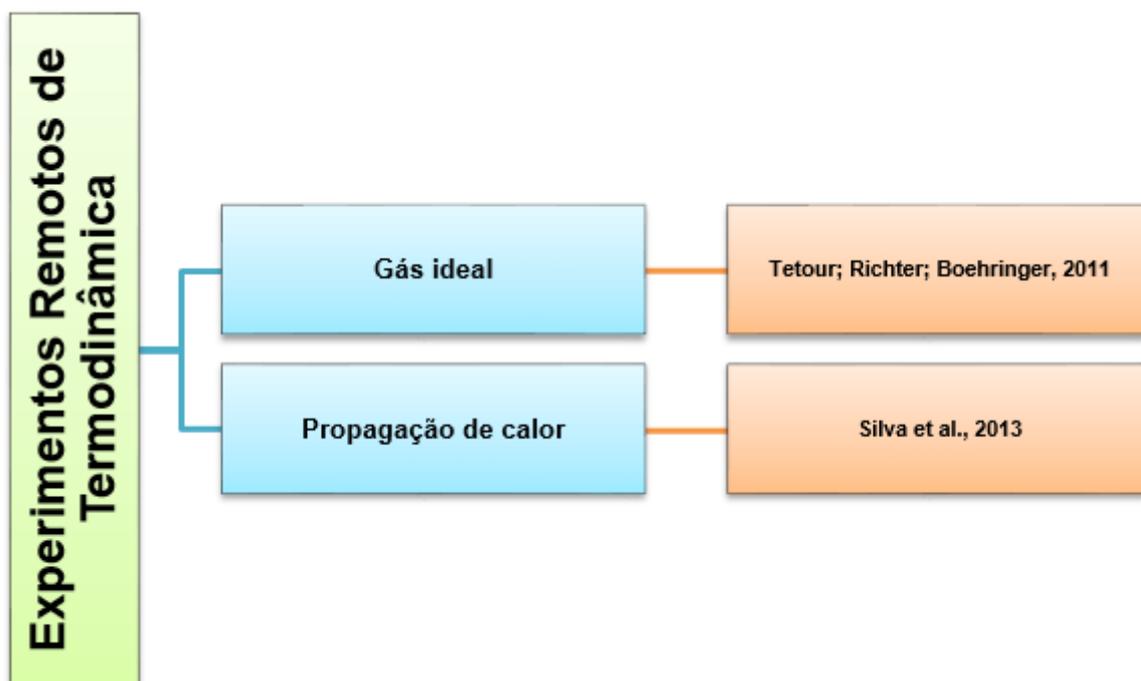
Fonte: A autora

Figura 4 - Experimentos remotos em Eletromagnetismo e os respectivos autores



Fonte: A autora

Figura 5 - Experimentos remotos em Termodinâmica e os respectivos autores



Fonte: A autora

Figura 6 - Experimentos remotos em Física Moderna e os respectivos autores



Fonte: A autora

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

Resultados de pesquisas educacionais indicam que a adoção do método tradicional, ou seja, a utilização praticamente exclusiva de aulas expositivas como estratégia de ensino, pode explicar a baixa eficiência no que se refere à aprendizagem de Física (VIEIRA, 2014). Os métodos tradicionais

[...] são predominantemente baseados em aulas expositivas monológicas, com conteúdos expressos tais e quais nos livros didáticos, sendo as interações entre professor e alunos, e destes entre si, pouco exploradas no processo de ensino-aprendizagem (VIEIRA, 2014, p.13).

No entanto, apesar desses resultados serem amplamente divulgados, a diversificação metodológica das atividades é pouco frequente (VIEIRA, 2014).

Como nosso trabalho refere-se à construção de uma proposta de ensino teórico-experimental investigativo (Apêndice A), apresentamos nesse capítulo algumas concepções de ensino investigativo e atividades experimentais investigativas e ressaltamos aquelas que fundamentaram o desenvolvimento da nossa sequência de ensino-aprendizagem. Essa última foi construída sob uma concepção teórica de objetivos de aprendizagem, que também é apresentada nessa parte da dissertação.

2.1 O ENSINO INVESTIGATIVO

De um modo geral, o ensino de Ciências ocorre por meio do ensino de leis e princípios, tomados como verdades absolutas, sem problematização e discussões acerca das teorias científicas e as evidências do cotidiano. Além disso, a estratégia de ensino mais frequente é aquela em que o professor faz anotações no quadro, seguido de explicações de um determinado tema, enquanto os alunos vão anotando (MUNFORD; LIMA, 2004).

Em tal modelo de ensino, poucas são as oportunidades de se realizar investigações e de argumentar acerca dos temas e fenômenos em estudo. O resultado é que estudantes não aprendem conteúdos das Ciências e ainda constroem representações inadequadas das mesmas, ignorando-as como um empreendimento cultural e social (MUNFORD; LIMA, 2007, pág. 2).

Além disso, a Ciência ensinada na escola está muito distante da Ciência que foi ou é praticada pelos cientistas, sendo que, muitas vezes, essas duas “ciências”

têm muito pouco em comum. E ainda são mais preocupantes as diferenças entre as representações das práticas científicas ensinadas e das práticas científicas dos cientistas. Nestas últimas, há o emprego do raciocínio com base em modelos causais, negociação de significados e uma compreensão socialmente construída, o que é totalmente ausente no processo de ensino tradicional. Assim, os conceitos ensinados na escola são abstratos e distantes do contexto em que se originaram (MUNFORD; LIMA, 2007). Porém, muitos pesquisadores acreditam que aprender sobre Ciências é tão importante quanto aprender Ciências (MUNFORD; LIMA, 2007).

Dessa forma, o ensino por investigação é uma prática que busca a mudança desse quadro. Em países da América do Norte e Europa esse método é considerado inovador, além de ser muito discutido. Entretanto, no Brasil, essa ideia ainda não é muito abordada. Porém, o interesse vem crescendo entre pesquisadores e educadores (MUNFORD; LIMA, 2007).

As pesquisas mostram que o filósofo e educador americano John Dewey (1859-1952) foi o primeiro a sugerir a inclusão do ensino por investigação nas escolas. No início do século XX, nos Estados Unidos, ele apresentou críticas ao ensino de Ciências por meio da transmissão do conhecimento e sugeriu que ele deveria implicar na aprendizagem de processos ou métodos usados na Ciência e não apenas de conteúdo. Nesse caso, o aluno seria mais ativo e o professor atuaria mais como um orientador (BARROW, 2006).

Para ele, o método científico, que deveria ser ensinado e aplicado, podia ser sintetizado em 4 etapas: definição da situação problema, coleta de dados, levantamento e teste de hipóteses e formulação de uma conclusão. A situação problema apresentada deveria ser relacionada com o cotidiano dos alunos e de acordo com sua capacidade intelectual, e os estudantes seriam aprendizes em busca de respostas (BARROW, 2006).

Hoje, o sentido do termo ensino por investigação não é consensual entre pesquisadores. Alguns consideram que o ensino por investigação é aquele que mais se aproxima do trabalho dos cientistas (SÁ; LIMA; AGUIAR JUNIOR, 2011); outros o concebem como aquele em que se utiliza a prática experimental investigativa para ensinar Ciências (SÁ; LIMA; AGUIAR JUNIOR, 2011) e ainda outros consideram que as atividades investigativas são um tipo de solução de problema apresentado aos estudantes com diferentes graus de autonomia (SÁ; LIMA; AGUIAR JUNIOR, 2011).

Nesse último caso, os alunos são confrontados com perguntas sem soluções óbvias ou conhecidas por eles (SÁ; LIMA; AGUIAR JUNIOR, 2011).

Segundo Azevedo (2004), um dos principais objetivos do ensino por investigação é levar o aluno a participar do seu processo de aprendizagem, saindo de uma postura passiva e agindo sobre o objeto de estudo. Dessa forma, o aluno deve pensar, debater, justificar suas ideias e aplicar seus conhecimentos em situações novas. Assim, o aluno começa a construir também sua autonomia (AZEVEDO, 2004). Ainda conforme essa autora,

Para que uma atividade possa ser considerada uma atividade de investigação, a ação do aluno não deve se limitar apenas ao trabalho de manipulação ou observação, ela deve também conter características de um trabalho científico: o aluno deve refletir, discutir, explicar, relatar, o que dará ao seu trabalho as características de uma investigação científica (AZEVEDO, 2004, p. 21).

Porém, em uma atividade por investigação, é importante que a investigação faça sentido para o aluno, ou seja, ele deve saber o motivo de estar investigando o fenômeno apresentado (AZEVEDO, 2004).

Entretanto, nesse tipo de atividade, não é necessário que o aluno consiga realizar todas as etapas de forma autônoma. O objetivo maior é propor um problema que possa ser o ponto de partida para a construção do conhecimento e a partir dele despertar o interesse do aluno, estimular sua participação, gerar discussões e levar o estudante a participar das etapas de resolução do problema. A produção do conhecimento deverá ser por meio da interação entre pensar, sentir e fazer. Dessa forma, esse processo poderá, além de proporcionar o conhecimento de fatos e conceitos, desenvolver habilidades e capacidades, como raciocínio, flexibilidade, astúcia, argumentação e ação e desenvolver a aprendizagem de atitudes e valores (AZEVEDO, 2004).

Desse modo, o professor deve mudar a postura e atuar mais como um orientador do que um transmissor de conhecimento. Ele deve orientar o aluno a agir diante de um problema para que o estudante reflita, busque explicações e participe com mais ou menos intensidade das etapas do processo que leva à solução do problema. Ou seja, o professor fica com a função de acompanhar as discussões, provocar, estimular, propor questões, desafios e ajudar os alunos a manterem a coerência de suas ideias. Assim, o aluno deixa de ser um observador de aulas expositivas e passa a fazer parte do seu processo de conhecimento, argumentando,

pensando, agindo, interferindo e questionando (AZEVEDO, 2004).

Dessa forma, o ensino por investigação pode proporcionar, também, a aprendizagem de procedimentos e atitudes, que se tornam tão importantes quanto a aprendizagem de conceitos/conteúdo (AZEVEDO, 2004). Nesse sentido, Blosses define que os objetivos pedagógicos que se procura atingir com essa abordagem são:

Habilidades - de manipular, questionar, investigar, organizar, comunicar;
 Conceitos - por exemplo: hipótese, modelo teórico, categoria taxionômica;
 Habilidades cognitivas - pensamento crítico, solução de problemas, aplicação, síntese;
 Compreensão da natureza da ciência - empreendimento científico, cientistas e como eles trabalham, a existência de uma multiplicidade de métodos científicos, inter-relações entre ciência e tecnologia e entre várias disciplinas científicas;
 Atitudes - por exemplo: curiosidade, interesse, correr risco, objetividade, precisão, perseverança, satisfação, responsabilidade, consenso, colaboração, gostar de ciência. (BLOSSES, 1988 apud AZEVEDO, 2004, p. 24)

Uma das formas de se ensinar por investigação é através de aulas experimentais, que é o tema deste trabalho. No item a seguir serão descritas algumas concepções sobre atividades experimentais investigativas.

2.2 ATIVIDADES EXPERIMENTAIS INVESTIGATIVAS

Existem diversas concepções acerca dos motivos que impulsionam a realização de uma atividade experimental, seus objetivos e as ações para atingi-los. Estudos sobre as práticas de laboratório estão adquirindo nos últimos anos um novo impulso e gerando um amplo consenso sobre a sua orientação com uma natureza investigativa (HERNANDES; CLEMENT; TERRAZAN, 2004; PÉREZ; CASTRO, 1996). De acordo com Azevedo,

Os trabalhos de pesquisa em ensino mostram que os estudantes aprendem mais sobre a ciência e desenvolvem melhor seus conhecimentos conceituais quando participam de investigações científicas, semelhantes às feitas nos laboratórios de pesquisa. Essas investigações científicas, quando propostas aos alunos, tanto podem ser resolvidas na forma de práticas de laboratório como problemas de lápis e papel (AZEVEDO, 2004, p. 19).

Para Lewin e Lomascólo,

A situação de formular hipóteses, preparar experiências, realiza-las, recolher dados, analisar resultados, quer dizer, encarar trabalhos de

laboratório como 'projetos de investigação', favorece fortemente a motivação dos estudantes, fazendo-os adquirir atitudes tais como curiosidade, desejo de experimentar, acostumar-se a duvidar de certas afirmações, a confrontar resultados, a obterem profundas mudanças conceituais, metodológicas e atitudinais (LEWIN; LOMASCÓLO, 1998 apud AZEVEDO, 2004, p. 21).

Segundo Pérez e Castro (1996), uma prática de laboratório que busca o ensino por investigação deve integrar aspectos da atividade científica. Em seguida será descrita uma série de aspectos em que os autores acreditam ser fundamental em uma prática experimental investigativa, porém, não há necessidade de ser trabalhada de forma linear, mas é importante salientar a riqueza de uma atividade científica (PÉREZ; CASTRO, 1996).

1. Apresentar situações problemáticas "abertas" com um nível de dificuldade adequado ao potencial dos estudantes.
2. Incentivar a reflexão do estudante sobre a relevância das situações propostas, dando sentido ao seu estudo e evitando a descontextualização.
3. Potencializar a análise qualitativa para ajudar a compreender e limitar as situações apresentadas e formular questões sobre o que buscar. Entretanto, reconhecendo que a Matemática é um instrumento essencial na investigação, que interfere em todo o processo, desde o enunciado até a análise dos resultados.
4. Considerar o levantamento de hipóteses como atividade central da investigação científica para orientar o tratamento das situações e explicitar as concepções prévias dos estudantes. Salientar a necessidade de fundamentar tais hipóteses e se atualizar sobre os conhecimentos que são pré-requisitos para o estudo.
5. Incentivar o desenvolvimento do projeto e planejamento da atividade experimental pelos estudantes. Incorporar, sempre que possível, a tecnologia mais nova no planejamento para favorecer uma visão mais correta sobre a atividade científica contemporânea.
6. Considerar as análises, com atenção nos resultados, de acordo com o conhecimento disponível, das hipóteses e de resultados de outros grupos de estudantes. Verificar se há conflitos entre os resultados e as

concepções iniciais para facilitar mudanças conceituais.

7. Solicitar possíveis perspectivas e implicações do estudo para a ciência, tecnologia e sociedade e para outros campos do conhecimento.
8. Conceder uma importância para o desenvolvimento de memórias científicas que reflitam o trabalho, servindo de base para destacar o papel da comunicação e debate na atividade.
9. Ressaltar a dimensão coletiva do trabalho científico, por meio de grupos de trabalho, incentivando a interação entre os grupos, sendo o professor considerado o especialista.

Segundo Azevedo (2004), uma das atividades que pode ser realizada de forma investigativa é a prática de laboratório, chamado de *laboratório aberto* e que busca a solução de uma questão. Essa busca pode ser dividida em seis momentos:

- Proposta do problema: O problema deve ser proposto de forma que estimule a curiosidade científica dos estudantes. O problema não deve ser muito específico para que possa gerar uma ampla discussão.
- Levantamento de hipóteses: os alunos deverão levantar hipóteses sobre a solução do problema por meio de discussões.
- Elaboração do plano de trabalho: deverá haver uma discussão sobre como realizar o experimento. Nessa etapa, deve-se decidir como a experiência será realizada, incluindo o material utilizado, a montagem do arranjo experimental e a coleta e análise de dados. O professor deverá orientar os alunos para verificarem se será possível testar as hipóteses de acordo com o planejamento.
- Montagem do arranjo experimental e coleta de dados: nessa etapa é realizada a manipulação do material, os alunos realizam o experimento e coletam os dados de acordo com o plano de trabalho. É importante que os alunos percebam a Física como uma Ciência experimental. Nessa fase, o professor deve verificar se os grupos de alunos estão realizando as tarefas corretamente e promover discussões sobre a importância do cuidado na obtenção de dados.
- Análise de dados: é necessário analisar se os dados coletados fornecem

informações para a resposta do problema. Nessa etapa é feita, quando possível, a construção de gráficos, obtenção de equações e realização de cálculos. O professor deve mostrar que essa etapa é fundamental em um trabalho científico e a linguagem matemática auxilia na generalização do trabalho.

- Conclusão: deve haver a formulação da resposta ao problema, discutindo a validade das hipóteses e as consequências derivadas.

Neste trabalho, usamos, principalmente, a concepção da Azevedo (2004) como norteador da nossa proposta metodológica.

A fundamentação sobre sequência de ensino-aprendizagem que norteou nosso trabalho está apresentada no item a seguir.

2.3 SEQUÊNCIA DE ENSINO-APRENDIZAGEM

O uso de pesquisas em pequena e média escalas de tempo é uma das maneiras de tratar as inovações curriculares. O principal objetivo dessas pesquisas é propor, aplicar e avaliar sequências de ensino-aprendizagem ou sequências didáticas (TLS, do inglês *Teaching-learning Sequences*), que almejam o ensino-aprendizagem de tópicos científicos (CORRÊA, 2015).

De acordo com Zabala (1998), as sequências de ensino-aprendizagem são “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, que têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (ZABALA, 1998, p. 18).

Algumas propostas de abordagens de sequências didáticas indicam que pesquisadores e professores devem trabalhar juntos na criação e avaliação das sequências, pois, “os professores desempenham um papel de transformador das intenções educativas dos programas e dos pesquisadores” (CORRÊA, 2015, p. 30).

Além disso, para Andersson e Bach (2004), a produção de uma sequência de ensino-aprendizagem deve envolver professores e pesquisadores, pois, essa relação pode proporcionar interações entre o conhecimento do professor (relacionado ao cotidiano escolar, concepções e dificuldades dos alunos na compreensão dos conteúdos) e o conhecimento do pesquisador (relacionado ao

conteúdo científico e à pesquisa sobre ensino-aprendizagem).

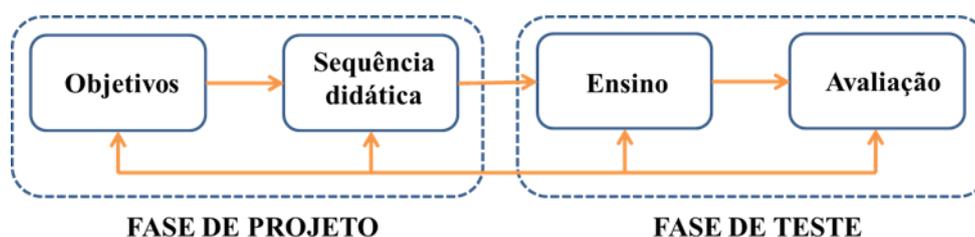
O ponto de partida para o desenvolvimento de uma sequência didática é a pesquisa relacionada ao conhecimento e objetivos para aprender um conteúdo específico. Essa “fase de projeto” é seguida por uma “fase de teste” em que a sequência é colocada em prática e avaliada. Os resultados obtidos são usados para a melhoria da sequência (WALLIN; WEST, 2013).

O processo que envolve a fase de projeto é um trabalho criativo, o que não implica necessariamente em um plano definido. Porém, há elementos sistemáticos. É necessário considerar resultados de pesquisas e experiências bem sucedidas para serem tomados como base do plano da sequência de ensino (ANDERSSON; BACH, 2004).

O principal resultado da fase de projeto é um conjunto de objetivos e de um projeto de uma sequência de ensino. A fase de testes é a aplicação dessa sequência em condições escolares regulares e a avaliação dessa sequência. Após essa etapa, deve ser feita uma revisão do projeto original e os resultados objetivos na aplicação deverão servir para produzir alterações na sequência. Esse processo pode ser repetido várias vezes (ANDERSSON; BACH, 2004).

A figura 7 apresenta as duas fases para a criação de uma sequência didática com suas principais características.

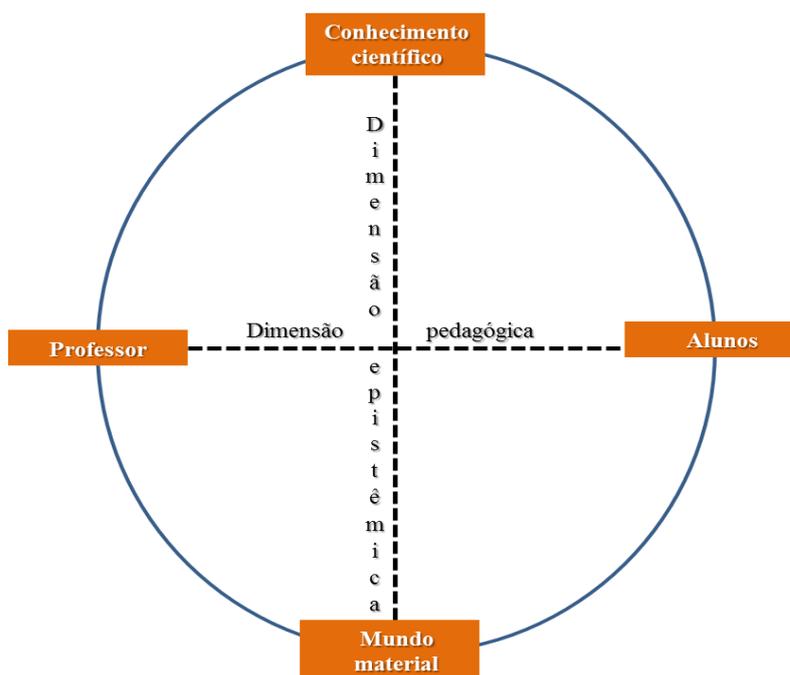
Figura 7 - Fases da criação de uma sequência didática



Fonte: Adaptado de Andersson e Bach (2004)

Segundo Méheut (2005), as sequências de ensino-aprendizagem podem auxiliar os alunos a compreender o conhecimento científico. A autora propõe modelo para a proposição de uma sequência didática, integrando quatro componentes: professor, alunos, conhecimento científico e mundo material (Figura 8).

Figura 8 - Modelo para uma sequência de ensino-aprendizagem



Fonte: Adaptado de Méheut (2005)

Na Figura 8, a dimensão epistemológica está relacionada aos conteúdos a serem apreendidos e as relações entre o conhecimento e o mundo material. A dimensão pedagógica evidencia os aspectos relacionados ao papel do professor e aos processos de interação entre professor-aluno e aluno-aluno (MEHÉUT, 2005).

Nesse sentido, Méheut considera que as dimensões epistêmica e pedagógica podem ser interlaçadas em abordagens que denomina “integradas construtivistas”, de forma que tanto o conhecimento a ser desenvolvido como os sujeitos envolvidos no processo são igualmente importantes (CORRÊA, 2015).

Conforme citado anteriormente, a definição dos objetivos de aprendizagem constitui uma das primeiras etapas da definição de uma sequência de aprendizagem e será fundamentada a seguir.

2.4 OBJETIVOS DE APRENDIZAGEM

A definição dos objetivos educacionais auxilia na estruturação do processo educacional com o intuito de promover mudanças de pensamentos e condutas (FERRAZ, 2008).

Essa estruturação é resultado de um processo de planejamento que está diretamente relacionado à escolha de conteúdo, de procedimentos, de atividades a

serem desenvolvidas, de recursos, de método de avaliação e de metodologia a ser adotada por um determinado período de tempo, para um determinado público (FERRAZ, 2008, p.112).

Assim, a definição desses objetivos direcionará para a delimitação do conteúdo específico, definição de estratégias, de métodos e da escolha dos instrumentos de avaliação (FERRAZ, 2008).

Nesse contexto, a Taxonomia de Bloom é um dos instrumentos que pode auxiliar no planejamento, organização e controle dos objetivos de aprendizagem (FERRAZ; BELHOT, 2010).

2.4.1 A Taxonomia de Bloom

Uma série de discussões que ocorreram na Associação Psicológica Americana, em 1948, levaram a Benjamim S. Bloom e um grupo de educadores a desenvolver a tarefa de classificar os objetivos educacionais (TAVARES et al., 2007).

Inicialmente, Bloom tinha como principal objetivo padronizar uma linguagem para ser usada por especialistas em avaliação educacional para compartilhar resultados. Dessa forma, Bloom definiu uma classificação para organizar os objetivos educacionais em uma hierarquia (NONATO; TONI, 2015).

Assim, a ideia central da taxonomia é definir claramente aquilo que os educadores pretendem que os alunos aprendam (PELISSONI, 2009).

Segundo Ferraz e Belhot (2008, p. 124),

A taxonomia dos objetivos educacionais de Bloom é um framework de classificação que estabelece o que se espera que os alunos aprendam e que competências devem ser adquiridas, como resultado de uma instrução direcionada e estruturada (FERRAZ, 2008, p.124).

Existem inúmeras vantagens de se utilizar a taxonomia no contexto educacional, entre elas:

Oferecer a base para o desenvolvimento de instrumentos de avaliação e utilização de estratégias diferenciadas para facilitar, avaliar e estimular o desempenho dos alunos em diferentes níveis de aquisição de conhecimento; e
Estimular os educadores a auxiliarem seus discentes, de forma estruturada e consciente, a adquirirem competências específicas a partir da percepção da necessidade de dominar habilidades mais simples (fatos) para, posteriormente, dominar as mais complexas (conceitos) (FERRAZ;

BELHOT, 2010, p. 422).

Segundo Conklin (2005), a Taxonomia de Bloom tem se constituído em uma das maiores contribuições acadêmicas, auxiliando os educadores com o planejamento didático de forma a estimular o raciocínio e abstrações de alto nível.

A taxonomia possibilitou a padronização da linguagem no meio acadêmico e abriu novas discussões relacionadas à definição de objetivos instrucionais (FERRAZ; BELHOT, 2010).

Bloom e seus colaboradores desenvolveram um sistema de classificação para três domínios: o cognitivo, o afetivo e o psicomotor (FERRAZ; BELHOT, 2010).

Conforme Ferraz e Belhot (2010, p. 422), as características básicas de cada um desses domínios podem ser resumidas em:

Cognitivo: relacionado ao aprender, dominar um conhecimento. Envolve a aquisição de um novo conhecimento, do desenvolvimento intelectual, de habilidade e de atitudes. Inclui reconhecimento de fatos específicos, procedimentos padrões e conceitos que estimulam o desenvolvimento intelectual constantemente. Nesse domínio, os objetivos foram agrupados em seis categorias e são apresentados numa hierarquia de complexidade e dependência (categorias), do mais simples ao mais complexo. Para ascender a uma nova categoria, é preciso ter obtido um desempenho adequado na anterior, pois cada uma utiliza capacidades adquiridas nos níveis anteriores. As categorias desse domínio são: Conhecimento; Compreensão; Aplicação; Análise; Síntese e Avaliação;

Afetivo: relacionado a sentimentos e posturas. Envolve categorias ligadas ao desenvolvimento da área emocional e afetiva, que incluem comportamento, atitude, responsabilidade, respeito, emoção e valores. Para ascender a uma nova categoria é preciso ter obtido um desempenho adequado na anterior, pois cada uma utiliza capacidades adquiridas nos níveis anteriores para serem aprimoradas. As categorias desse domínio são: Receptividade; Resposta; Valorização; Organização e Caracterização; e

Psicomotor: relacionado a habilidades físicas específicas. Bloom e sua equipe não chegaram a definir uma taxonomia para a área psicomotora, mas outros o fizeram e chegaram a seis categorias que incluem ideias ligadas a reflexos, percepção, habilidades físicas, movimentos aperfeiçoados e comunicação não verbal. Para ascender a uma nova categoria, é preciso ter obtido um desempenho adequado na anterior, pois cada uma utiliza capacidades adquiridas nos níveis anteriores. As categorias desse domínio são: Imitação; Manipulação; Articulação e Naturalização.

O domínio Cognitivo é estruturado em níveis de complexidade crescente, assim, para adquirir uma nova habilidade o aluno deverá ter adquirido a habilidade do nível anterior. Dessa forma, a taxonomia também possibilita a organização hierárquica “dos processos cognitivos de acordo com os níveis de complexidade e

objetivos do desenvolvimento cognitivo desejado e planejado” (FERRAZ; BELHOT, 2010).

As categorias do domínio cognitivo estão representadas na Figura 9.

Figura 9 - Categorias do domínio cognitivo segundo Bloom e colaboradores



Fonte: Ferraz (2008)

A estruturação da Taxonomia de Bloom no domínio cognitivo encontra-se no Quadro 2 (FERRAZ; BELHOT, 2010; PELISSONI, 2009).

Quadro 2 - Estruturação da Taxonomia de Bloom

Nível	Descrição	Verbos
1 – Conhecimento	Habilidade de lembrar, recordar informações, conteúdos, ideias, teorias, princípios etc. que foram previamente ensinados.	Enumerar, definir, descrever, identificar, denominar, listar, nomear, combinar, realçar, apontar, relembrar, recordar, relacionar, reproduzir, solucionar, declarar, distinguir, rotular, memorizar, ordenar e reconhecer.
2 – Compreensão	Habilidade de compreender ou interpretar um conteúdo com base em conhecimentos prévios e utilizá-los em contextos diferentes.	Alterar, construir, converter, decodificar, defender, definir, descrever, distinguir, discriminar, estimar, explicar, generalizar, dar exemplos, ilustrar, inferir, reformular,

		prever, reescrever, resolver, resumir, classificar, discutir, identificar, interpretar, reconhecer, redefinir, selecionar, situar e traduzir.
3 – Aplicação	Habilidade de aplicar o novo conhecimento em situações concretas.	Aplicar, alterar, programar, demonstrar, desenvolver, descobrir, dramatizar, empregar, ilustrar, interpretar, manipular, modificar, operacionalizar, organizar, prever, preparar, produzir, relatar, resolver, transferir, usar, construir, esboçar, escolher, escrever, operar e praticar.
4 – Análise	Habilidade de subdividir o conteúdo com o intuito de compreender a estrutura final, identificando suas partes e suas inter-relações.	Analisar, reduzir, classificar, comparar, contrastar, determinar, deduzir, diagramar, distinguir, diferenciar, identificar, ilustrar, apontar, inferir, relacionar, selecionar, separar, subdividir, calcular, discriminar, examinar, experimentar, testar, esquematizar e questionar.
5 – Síntese	Habilidade de integrar o conteúdo com a finalidade de criar um novo todo.	Categorizar, combinar, compilar, compor, conceber, construir, criar, desenhar, elaborar, estabelecer, explicar, formular, generalizar, inventar, modificar, organizar, originar, planejar, propor, reorganizar,

		relacionar, revisar, reescrever, resumir, sistematizar, escrever, desenvolver, estruturar, montar e projetar.
6 – Avaliação	Habilidade de avaliar, criticar ou julgar o material para um propósito específico.	Avaliar, averiguar, escolher, comparar, concluir, contrastar, criticar, decidir, defender, discriminar, explicar, interpretar, justificar, relatar, resolver, resumir, apoiar, validar, detectar, estimar, julgar e selecionar.

Fonte: Ferraz e Belhot, 2010; Pelissoni, 2009

Após quarenta anos de utilização da taxonomia original de Bloom, em 2001, um grupo de especialistas, supervisionado por David Krathwohl, propôs uma revisão da taxonomia, que foi publicada num livro intitulado *A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Bloom's taxonomy or educational objectives* (FERRAZ, 2008).

Na taxonomia original, nas categorias do domínio cognitivo (Figura 9) possuía uma mistura de substantivo (conhecimento) e verbos (compreensão, aplicação, análise, síntese e avaliação). Nessa nova versão, conhecida como Taxonomia de Bloom revisada, foi feita uma separação entre verbos e substantivos em duas dimensões diferentes (FERRAZ; BELHOT, 2010).

Assim, foram combinadas a dimensão do conhecimento (tipo de conhecimento a ser adquirido) com a dimensão do processo cognitivo (processo utilizado para a aquisição desse conhecimento), dando um carácter bidimensional à taxonomia original (NONATO; TONI, 2015).

Na Taxonomia de Bloom revisada, o nome da taxonomia e a base das categorias foram mantidos, entretanto, ao separar o conhecimento do processo cognitivo, ocorreram as seguintes mudanças (FERRAZ; BELHOT, 2010):

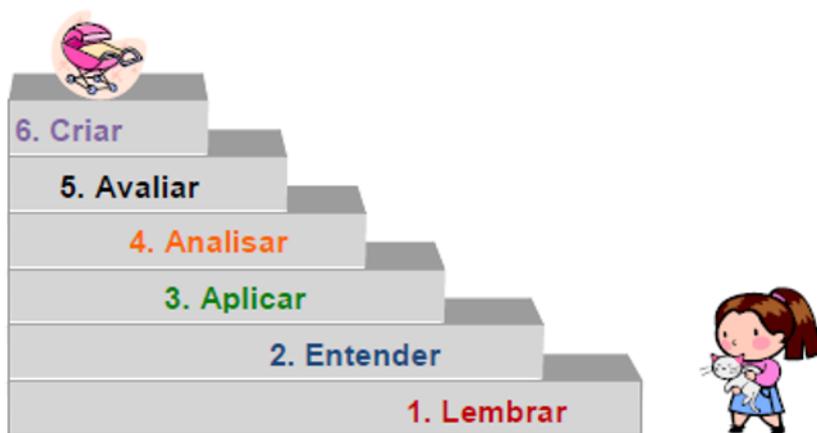
Os aspectos verbais utilizados na categoria Conhecimento foram mantidos, mas esta foi renomeada para Lembrar; Compreensão foi renomeada para Entender; e Aplicação, Análise, Síntese e Avaliação, foram alteradas para a forma verbal Aplicar, Analisar, Sintetizar e Criar, por expressarem melhor a

ação pretendida e serem condizentes com o que se espera de resultado a determinado estímulo de instrução;

As categorias avaliação e síntese (avaliar e criar) foram trocadas de lugar. (FERRAZ; BELHOT, 2010, p. 427).

A categorização da taxonomia revisada é apresentada na Figura 10.

Figura 10 - Categorias do domínio cognitivo da taxonomia revisada



Fonte: Ferraz (2008)

O Quadro 3, a seguir, representa o carácter bidimensional da taxonomia revisada, enfatizando a dimensão do conhecimento e a dimensão do processo cognitivo.

Conforme Ferraz e Belhot (2010),

Embora a nova taxonomia mantenha o design hierárquico da original, ela é flexível, pois possibilitou considerar a possibilidade de interpolação das categorias do processo cognitivo quando necessário, devido ao fato de que determinados conteúdos podem ser mais fáceis de serem assimilados a partir do estímulo pertencente a uma mais complexa. Por exemplo, pode ser mais fácil entender um assunto após aplicá-lo e só então ser capaz de explicá-lo. (FERRAZ; BELHOT, 2010, p. 427).

Quadro 3 - Processos cognitivos da taxonomia revisada

Dimensão do Conhecimento	Dimensão dos Processos Cognitivos					
	Lembrar	Entender	Aplicar	Analisar	Avaliar	Criar
Conhecimento Factual						
Conhecimento Conceitual						
Conhecimento Procedimental						

Fonte: Tavares (2007)

A utilização de instrumentos que facilitem o planejamento didático é fundamental. Nesse contexto,

[...] a Taxonomia de Bloom tem colaborado significativamente, pois, é um instrumento de classificação de objetivos de aprendizagem de forma hierárquica (do mais simples para o mais complexo) que pode ser utilizado para estruturar, organizar e planejar disciplinas, cursos ou módulos instrucionais (FERRAZ; BELHOT, 2010, P. 431).

Dessa forma, a taxonomia escolhida para auxiliar a estruturação dos objetivos de aprendizagem em nosso trabalho foi a proposta por Bloom e seus colegas. Essa taxonomia se aproxima dos objetivos do ensino por investigação, ou seja, podemos associar o domínio cognitivo com a aprendizagem de conteúdo; o domínio afetivo com a aprendizagem de atitudes e o domínio psicomotor com a aprendizagem de procedimentos.

3 METODOLOGIA DE PESQUISA

Nossa pesquisa é de cunho qualitativo e, conforme Yin (2010), o tipo de questão de pesquisa que propomos neste projeto caracteriza-a como um estudo de caso explanatório, pois não exige controle dos eventos comportamentais, enfoca eventos contemporâneos e busca o estabelecimento das relações causa-efeito.

Realizamos a pesquisa em conjunto com um professor de Física do ensino médio, com o objetivo de responder à seguinte questão:

Como desenvolver e aplicar um método de ensino para o uso da experimentação remota em Física, fundamentada no ensino por investigação, e integrada ao planejamento curricular do ensino médio?

Para isso, desenvolvemos um experimento que pode ser manipulado remotamente, por meio de um computador, celular ou tablete conectado à internet (Apêndice A); desenvolvemos uma sequência didática que foi concebida com base em atividades investigativas (Apêndice A) e criamos um Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) como suporte à metodologia que desenvolvemos (Apêndice A).

A metodologia foi implementada no 3º ano do ensino médio de uma escola estadual de Uberaba-MG, em 11 aulas distribuídas de forma não consecutivas e conforme o cumprimento dos pré-requisitos relacionados ao conteúdo, no período de abril a junho de 2014 (Anexo A). Havia, em média, 12 alunos participando das aulas.

É importante salientar que realizamos a aplicação em conjunto com o professor que ministrava aulas regularmente na escola. Nós coordenamos e acompanhamos todo o planejamento e execução das aulas e assumimos a regência de aula em determinados momentos da aplicação. Por outro lado, o Professor da Disciplina faz parte do Nutec, como professor bolsista da educação básica, em projeto aprovado pela FAPEMIG, e participou de todas as etapas da elaboração da metodologia aqui proposta.

As intervenções na escola foram mescladas à programação do professor para a disciplina (Anexo A), ou seja, incorporamos a sequência didática ao planejamento do professor, de forma a não comprometer os conteúdos programados para aquela etapa da educação formal.

Todas as aulas da nossa intervenção foram realizadas no laboratório de informática da escola, mesmo nas aulas em que os computadores não foram

efetivamente usados. A intenção era evitar a configuração tradicional das salas de aula, com as carteiras enfileiradas, que reforçam o conceito de aula expositiva e que dirigem o foco do estudante para um único local específico da sala: a lousa.

Para a coleta de dados utilizamos filmagens, caderno de anotações e documentos redigidos pelos alunos.

Para realizar as filmagens, nós disponibilizamos três câmeras no laboratório de informática; duas, estavam captando os alunos em ângulos diferentes e a outra, estava captando o professor ou estava móvel para captar discussões em grupos menores.

Utilizamos o caderno de anotações, principalmente, para registrar observações acerca do comportamento dos alunos e do professor relacionados aos objetivos de aprendizagem almejados.

E os documentos redigidos pelos alunos foram compostos por atividades extraclases, discussões no fórum do AVA e as memórias científicas elaboradas ao final da aplicação da proposta metodológica (DORNELES; GALIAZZI, 2012).

Posteriormente, realizamos uma análise dos dados em relação aos objetivos educacionais propostos para cada aula, associando-os às atividades desenvolvidas e à execução da sequência didática. Dessa forma, fazemos uma verificação de quais objetivos propostos foram alcançados e utilizamos a triangulação de dados para fazer inferências sobre os aspectos do ensino investigativos que se manifestaram na aplicação da metodologia.

4 RELATO DA APLICAÇÃO E ANÁLISES

Nesse capítulo, apresentamos um relato de como se deu a aplicação da sequência didática aos estudantes do terceiro ano do ensino médio de uma escola pública de Uberaba e uma análise relacionada a essa aplicação.

Primeiramente, apresentamos o relato, aula por aula, dos principais fatos registrados em vídeo e destacamos os aspectos mais relevantes associados à nossa investigação, tendo o cuidado de não identificar os atores objetos deste estudo, nomeando cada um deles como Professor da Disciplina ou Estudante N, onde N será um número associado a um mesmo sujeito em todo o relato.

Após o relato de cada aula, apresentamos uma análise da aula em relação aos objetivos educacionais associados às atividades desenvolvidas e à execução da sequência didática. Os objetivos educacionais que delineamos nessa proposta estão dispostos no Quadro 4, com seus respectivos indicadores (que foram utilizados nas análises). Esses objetivos foram determinados a partir da Taxonomia de Bloom (FERRAZ; BELHOT, 2010), considerando os domínios cognitivo, afetivo e psicomotor e relacionando com os objetivos pretendidos em uma abordagem investigativa, com relação à aprendizagem de conceitos, atitudes e procedimentos.

Fizemos uma verificação de como as atividades puderam proporcionar o desenvolvimento dos objetivos propostos e utilizamos a triangulação de dados para fazer inferências sobre os aspectos do ensino investigativo que se manifestaram na aplicação da metodologia.

Quadro 4 - Objetivos de Aprendizagem

Objetivos de Aprendizagem	Indicadores
Despertar interesse do estudante pelo tema	A
Desenvolver a atitude de buscar informações e/ou conhecimento	B
Desenvolver a postura crítica	C
Desenvolver a postura de argumentar	D
Desenvolver a postura de comunicar	E
Desenvolver a habilidade em formular hipóteses	F
Desenvolver a observação e busca de compreensão do fenômeno e do aparato experimental	G
Despertar curiosidade do estudante	H
Planejar roteiro experimental	I
Montar o aparato experimental	J
Manipular, obter e analisar dados experimentais	K
Relatar experiências de aprendizagem	L

Entender o impacto que a descoberta do elétron produziu na ciência, na tecnologia e nas atividades cotidianas das pessoas	M
Compreender a descoberta do elétron como um processo que envolveu o trabalho de vários cientistas	N
Compreender a inter-relação entre a pesquisa teórica e a pesquisa experimental	O
Entender a relação entre uma descoberta científica e as condições históricas que viabilizaram a sua descoberta	P
Compreender a Física envolvida no equipamento experimental	Q
Identificar grandezas físicas constantes, variáveis, dependentes e independentes no experimento	R
Conhecer e compreender a relação entre os conceitos físicos abordados	S

Fonte: A autora

Por último, apresentamos impressões do Professor da Disciplina, obtidas de uma entrevista semiestruturada, acerca da incorporação da sequência didática em seu planejamento, da diferença entre essa proposta e suas aulas tradicionais e o comportamento dos alunos frente a essa proposta.

4.1 RELATO DA PRIMEIRA AULA

Na primeira aula, as cadeiras foram dispostas em círculo. Os alunos entraram, escolheram seus lugares e olharam desconfiados para as câmeras. Havia 12 alunos participando dessa aula.

O Professor da Disciplina nos apresentou aos alunos, explicou o motivo da nossa presença na escola e esclareceu sobre nosso grupo de pesquisa, chamado NUTEC, onde desenvolvemos projetos para criar metodologias e materiais didáticos para auxiliar no ensino de Ciências.

Esclarecemos, de forma sucinta, o que é o experimento remoto, como utilizá-lo e onde ele se localiza.

Explicamos aos alunos que eles não seriam prejudicados quanto ao conteúdo da disciplina, que o professor havia adequado todas as atividades na programação normal da escola, que elas estavam relacionadas ao conteúdo que eles estavam estudando e que as atividades programadas iriam auxiliar e complementar o conhecimento de Física que seria estudado.

O Professor da Disciplina também apresentou o cronograma de aulas que teriam nossa intervenção, que ocorreria da seguinte forma (Quadro 5):

Quadro 5 - Cronograma de Aulas

Data	Aula: Atividade
08/04/2014	1ª aula: Identificação de conhecimentos prévios
15/04/2014	2ª aula: Problematização inicial
28/04/2014	3ª aula: Levantamento de hipóteses pelos alunos
06/05/2014	4ª aula: Discussões sobre a descoberta do elétron
20/05/2014	5ª aula: Discussões sobre o aparato experimental
02/06/2014	6ª aula: Discussões sobre o conteúdo de Eletromagnetismo
03/06/2014	7ª aula: Discussões sobre o conteúdo de Eletromagnetismo
10/06/2014	8ª aula e 9ª aula: Montagem do aparato experimental pelos alunos e coleta de dados (aulas geminadas)
10/06/2014	10ª aula e 11ª aula: Análise dos dados e conclusão (aulas geminadas)

Fonte: A autora

Em seguida, a turma foi dividida em grupos de três alunos, de forma a estimular o trabalho colaborativo para discutir algumas questões. Cada grupo recebeu uma folha com um questionário, na qual anotaram seus conhecimentos prévios e suas conclusões (objetivos associados aos indicadores A, D, E, F e H do Quadro 4). O questionário apresentou as seguintes questões:

1. O que é o elétron?
2. Por que é importante estudar o elétron?
3. Em que situações você percebe a atuação do elétron?
4. Qual a importância do elétron para o desenvolvimento da Ciência?

O principal objetivo dessa primeira aula foi o de verificar os conhecimentos prévios dos alunos sobre o tema. Porém, o questionário também foi elaborado com a intenção de despertar o interesse do estudante pelo tema (objetivos A e H do Quadro 4), pois as perguntas remetiam os estudantes: ao que seria abordado nas futuras aulas, à importância de se compreender a história e algumas propriedades do elétron e à forma como esse conteúdo está relacionado ao cotidiano do aluno.

Enquanto os alunos discutiam as questões, houve dúvidas entre eles e o professor foi questionado sobre eletricidade estática. O professor tentou responder às questões sem conceder muita informação, porém, as suas respostas começaram a comprometer o objetivo da aula, que era identificar os conhecimentos prévios dos alunos em relação ao tema. Nesse momento, fizemos uma intervenção e orientamos os alunos a não se preocuparem em responder certo ou errado, mas que apenas expusessem seus conhecimentos e suas ideias sobre os temas em discussão.

Quando os alunos terminaram de discutir e responder ao questionário, foram solicitados pelo professor a socializar suas respostas verbalmente, as quais estão apresentadas nos Quadros 6, 7, 8 e 9 (Objetivo E).

Quadro 6 - Respostas dos grupos à Questão 1

Grupo	Resposta
Grupo 1	O elétron é uma parte do átomo.
Grupo 2	Carga elétrica negativa.
Grupo 3	É uma carga elétrica negativa.
Grupo 4	São partículas de átomos que possuem carga negativa.

Fonte: A autora

Quadro 7 - Respostas dos grupos à Questão 2

Grupo	Resposta
Grupo 1	Para criar novas tecnologias envolvendo eletricidade e também para estudar o corpo humano.
Grupo 2	Para saber de algumas situações que estão presentes no nosso cotidiano (choque, fenômenos eletrostáticos).
Grupo 3	Para saber como ocorrem alguns eventos do cotidiano (choque, para ocorrer o aquecimento em uma panela de pressão devido à agitação dos elétrons).
Grupo 4	Para ter conhecimento dos processos de eletrização.

Fonte: A autora

Quadro 8 - Respostas dos grupos à Questão 3

Grupo	Resposta
Grupo 1	Na luz, no corpo humano (choque).
Grupo 2	Tudo é constituído dessas pequenas partículas e em uma dessas partículas está presente o elétron.
Grupo 3	Não respondeu.
Grupo 4	Quando duas pessoas se encostam, pois uma está eletrizada. Funcionamento de equipamentos.

Fonte: A autora

Quadro 9 - Respostas dos grupos à Questão 4

Grupo	Resposta
Grupo 1	Sendo a menor parte da matéria, é essencial estudar o menor para entender o maior.
Grupo 2	Não respondeu.
Grupo 3	É muito importante para o desenvolvimento de tudo (chips de computadores, eletricidade...).
Grupo 4	Para a criação de objetos que funcionam com a eletricidade e explicar os fenômenos atuais.

Fonte: A autora

No final da aula, o professor orientou os alunos para realizarem o cadastro no AVA acessando o site <http://nutec.ufu.br>. Os alunos deveriam acessar o AVA fora do ambiente escolar para começarem a se familiarizar com o ambiente, para um reconhecimento inicial sem a interferência do professor (objetivos A e H).

4.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A PRIMEIRA AULA

Apresentaremos, a seguir, nossas considerações sobre o que registramos na primeira aula em relação aos domínios afetivo, psicomotor e cognitivo dos alunos, assim como dos aspectos percebidos em relação à execução da nossa sequência de ensino-aprendizagem naquele momento.

4.2.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

A partir das discussões promovidas para responder ao questionário percebemos que os seguintes objetivos da aula foram atingidos:

- desenvolver a atitude de buscar informações (A) e estimular a habilidade em questionar (D): os alunos questionaram seus colegas do grupo para construir as respostas do questionário. Além disso, também questionaram o professor, pois surgiram outras dúvidas a partir desse questionário.
- estimular a comunicação (E): os alunos se comunicaram com os colegas do grupo para articularem as respostas ao questionário e expuseram as respostas ao professor e ao restante da turma.
- estimular a habilidade em formular hipóteses (F): os alunos levantaram hipóteses para encontrarem as respostas ao formulário. As hipóteses de cada grupo foram exibidas nos Quadros 6, 7, 8 e 9.

4.2.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

Como foi exposto, na nossa proposta, o maior objetivo era o de desenvolver uma postura ativa do estudante na busca do conhecimento, ou seja, desenvolver a autonomia da aprendizagem. Porém, quando os alunos começaram a discutir as

questões do questionário, várias dúvidas foram surgindo. Como essas dúvidas não foram sanadas por meio do grupo, eles começaram a questionar o professor. Apesar de o professor estar ciente de que um dos objetivos da metodologia era o de estimular a busca do conhecimento pelo próprio aluno, ele começou a responder às perguntas dos alunos, concedendo muitas informações.

Percebemos a dificuldade do professor em se adequar a um método diferenciado, em que ele deve assumir mais o papel de orientador, estimulando o estudante a buscar o conhecimento por si próprio, do que como expositor do conhecimento.

Além disso, apesar de pesquisas apontarem a importância do processo interativo entre os estudantes para a formação do conhecimento, percebemos que esse processo exibe características distintas: o trabalho em pequenos grupos de estudantes, de fato, estimula que todos os alunos participem da atividade. Mas isso não foi observado nessa e em outras aulas em que as discussões foram realizadas em grandes grupos, seja apenas entre os alunos, ou com o professor e o pesquisador. Constatamos que alguns alunos têm mais facilidade em discutir com seus pares, em pequenos grupos. A discussão em grandes grupos, ou mesmo em pequenos grupos, mas com a presença do professor, não se mostra salutar, pois acaba por fazer com que estudantes mais tímidos fiquem inibidos e o processo interativo fique comprometido.

Porém, consideramos importante estimular a discussão e a interação entre os alunos e professores, pois, dessa forma, é possível verificar as aprendizagens e dificuldades dos alunos em relação ao conteúdo de forma mais eficiente do que em avaliações tradicionais. Portanto, consideramos que os dois tipos de discussões devem ser explorados nas aulas: as discussões em grupos pequenos (3 alunos) e as discussões em grandes grupos, com o professor.

4.3 RELATO DA SEGUNDA AULA

Na segunda aula, chegamos com antecedência, ligamos todos os computadores e os conectamos no AVA.

Nessa aula participaram 13 alunos.

Cada computador foi utilizado por uma dupla ou trio de alunos, pois consideramos que, em um primeiro momento, essa seria a melhor estratégia para

garantir o envolvimento de todos para realizar as atividades cooperativamente e debaterem entre si (Objetivos D e E).

Os alunos entraram, escolheram seus lugares e os auxiliamos a realizar o login no site do AVA. Depois, os instruímos a navegarem livremente pelo AVA para eles se familiarizarem com o ambiente (Objetivos A e H).

Os alunos realizaram alguns questionamentos sobre o AVA, principalmente sobre a página do experimento. Eles questionaram se o que estavam observando era “ao vivo” e foram esclarecidos de que o experimento real estava no laboratório do NUTEC e sob o comando deles.

Em sequência, os alunos foram orientados a voltar para a página “Laboratório”, clicar na imagem do computador, realizar a leitura do texto e responder à pergunta que aparece naquela página (Objetivos A e H):

"Desde o seu surgimento na Terra, o ser humano acumulou conhecimentos suficientes para transformar drasticamente a Natureza a seu favor. Construiu artefatos que facilitaram a realização de tarefas, a sua locomoção e ampliaram as suas possibilidades de viver melhor.

Hoje, a nossa dependência de alguns desses produtos do conhecimento é tão grande que o seu uso passou a fazer parte das nossas rotinas, tornando-nos “dependentes” da sua existência.

Portanto, gostaríamos de saber a sua resposta para a seguinte pergunta:

De que produto do conhecimento você é “dependente”? Isto é, o que você possui e não consegue, ou não admite, ficar sem? Ou, ainda, a que objeto você é apegado?"

Depois que todos os alunos responderam à pergunta, o professor projetou o vídeo que aparece na página, pois os computadores dos alunos não possuíam caixas de som (Objetivos A e H).

O vídeo mostrou respostas de outras pessoas sobre essa pergunta, sendo que algumas das respostas foram: celular, computador e aparelho de som. O professor perguntou aos alunos se as respostas deles coincidiam com as respostas dessas outras pessoas (Objetivo E). E a maioria respondeu que sim.

Posteriormente, os alunos clicaram em “Continuar” e leram (Objetivos A e H) o seguinte texto:

"Existe um “ator” na Natureza que está presente em toda a matéria, inclusive no(a) (resposta que o estudante inseriu na página anterior). Ele não é uma

divindade, é invisível a olho nu e mesmo com o uso de poderosos instrumentos de observação ninguém consegue vê-lo. Mas ele existe e sentimos isso quando levamos um choque elétrico.

Esse “ator” é o principal responsável por viabilizar as ligações químicas que formam os sólidos e os líquidos. E também participa ativamente da produção da luz, da eletricidade e de todos os fenômenos eletromagnéticos.

Você é capaz de adivinhar de que estamos falando? E de como esse “ator” foi descoberto, mesmo sendo invisível?"

Após a leitura, o professor perguntou se eles tinham conseguido identificar quem era o “ator” (Objetivo E). Um dos alunos disse que era o átomo, outro o elétron e, ainda outro, afirmou que era energia.

O vídeo seguinte que aparece na página do AVA também foi projetado pelo professor (Objetivos A e H). Esse vídeo aborda algumas curiosidades relacionadas ao elétron, mas principalmente o que os robôs atuais são capazes de fazer. Tudo isso só foi possível por causa da utilização das propriedades do elétron.

Em sequência, o professor apresentou algumas conclusões sobre o ocorreu na aula até aquele momento: a maioria dos alunos respondeu que não conseguia ficar sem algum objeto tecnológico, por exemplo, o celular, e concluiu que o elétron faz parte de tudo e não serve somente para produzir a eletricidade e fazer as coisas funcionar.

Depois, os alunos foram orientados a lerem a pequena história em quadrinhos (HQ) que aparece no AVA (Objetivos A e H). A HQ faz uma analogia com a frase do filósofo francês René Descartes “Penso, logo existo”. O intuito da história é instigar o aluno a refletir de forma crítica (Objetivo C) sobre a existência do elétron, pois o elétron existe, independente do fato de não poder ser observado.

Posteriormente, o professor perguntou se eles tinham entendido a mensagem da HQ (Objetivos E e F) e o Estudante 1 respondeu que nem tudo que está presente na matéria pode ser visto. Após essa resposta, o professor questionou se o que a gente não vê, não existe (Objetivos E e F) e a resposta foi um unânime “não”. A Estudante 2 disse que existe, mas não é possível ver a olho nu. Então, o professor perguntou se era possível ver o elétron com o uso da tecnologia que dispomos hoje (Objetivos C, E e F). Os alunos não responderam e a pergunta ficou para ser refletida. Assim, o professor concluiu que a ideia da HQ era brincar com a mensagem de que, não é porque não vemos a olho nu, que o objeto não existe.

Depois, os alunos continuaram a acessar o AVA e leram a problematização inicial: “Hoje, é difícil identificar algo ao seu redor que não funcione à base de eletricidade, ou que não seja explicado por alguma propriedade eletrônica. Mas se o elétron é o principal ator de tantos fenômenos, dispositivos e objetos naturais, por que a sua descoberta demorou tanto tempo? Como foi possível descobri-lo e que cientistas se envolveram na sua descoberta?” (Objetivos A, B, H, G, M, N, O, P, Q, R e S).

O professor fez uma releitura da questão para esclarecer quaisquer dúvidas e orientou-os a responderem a essa questão no fórum (Objetivo E). Os alunos puderam colocar mais de uma resposta no fórum. Ele também passou as orientações para eles se cadastrarem no fórum. E, quem não conseguisse colocar sua resposta no fórum poderia levá-la por escrito na próxima aula.

4.4 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEGUNDA AULA

4.4.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

Quando os alunos começaram a navegar pelo AVA, houve muita curiosidade e interesse em relação ao seu conteúdo. Eles começaram a nos questionar sobre o que estavam observando. Esse fato contempla os objetivos A, B, D, E, G e H.

Além disso, podemos perceber que o objetivo E foi alcançado em parte, pois nem todos os alunos colocaram as respostas no fórum do AVA. Além disso, o objetivo F também não foi totalmente atingido, pois grande parte das respostas dos alunos não podia ser considerada como hipótese, uma vez que eles realizaram uma pesquisa para responderem a problematização. Porém, isso indica que o objetivo B foi atingido, porque os alunos buscaram informações para encontrar a resposta.

4.4.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

O fórum integrado ao AVA se mostrou pouco prático, pois, para acessá-lo os integrantes deveriam realizar um novo cadastro. O fato de termos utilizado uma ferramenta desenvolvida por terceiros e não termos construído um fórum de discussão específico para o AVA poderia dificultar o acesso dos estudantes e, por isso, os orientamos a levarem as respostas por escrito, caso não conseguissem

acessar o fórum.

Após a constatação desse problema, conversamos com os alunos e identificamos que o *Facebook* seria uma aplicação web de que todos eles eram usuários. Criamos um grupo no *Facebook* para disponibilizar informações, material didático e solucionar dúvidas. Porém, os acessos ao grupo também foram escassos.

Isso indica que nem sempre o uso da cultura digital do estudante favorece uma aprendizagem com uso da tecnologia. Dessa forma, embora seja sempre importante identificar a ferramenta ou aplicativo de comunicação com o qual os estudantes possuem mais afinidade, constatamos que é necessário, além de facilitar o acesso à ferramenta de discussões, incentivar o seu uso em situações educacionais. Essas discussões em grupo e a distância são relevantes, porque garantem que os alunos se envolvam nas atividades mesmo em momentos fora do ambiente escolar e proporciona que eles possam inserir suas dúvidas e recebam auxílio de outros integrantes do grupo (alunos e professores).

4.5 RELATO DA TERCEIRA AULA

Para dar procedimento às discussões relacionadas à problematização inicial, nós analisamos com antecedência as respostas dos alunos inseridas no fórum. Nenhum aluno respondeu de forma completa. A problematização era composta de várias perguntas, mas os alunos escolheram algumas para responder e ignoraram outras. Dessa forma, elaboramos uma apresentação de slides contendo todas as respostas dos alunos inseridas no fórum e alguns questionamentos, com o intuito de mostrar aos estudantes que ainda eram necessárias mais informações para responder à problematização proposta (Objetivos B, C, D, E e F).

Nessa aula, os alunos sentaram em círculo para discutir a problematização inicial e as respostas postadas no fórum.

As respostas foram projetadas na lousa e lidas pelo professor. Para não criar constrangimentos em sala de aula, os autores não foram identificados nas leituras; apenas as respostas mereceram análises e não os seus autores.

Primeira resposta: “Na época não havia tantos recursos tecnológicos para a descoberta dos elétrons. Vários pesquisadores chegaram a conclusões e depois outros pesquisadores foram confirmando, adaptando e ampliando as suas pesquisas até chegarmos às teorias atuais”.

Após a leitura da primeira resposta, demos início à discussão, questionando se quem pensou naquela resposta se referiu em quantidade de recursos ou em refinamento da tecnologia (Objetivos C, E, F e H). Os alunos concordaram que seria a segunda opção. Também perguntamos se eles concordavam que “vários pesquisadores chegaram à mesma conclusão e outros foram confirmando” a existência do elétron (Objetivo N). A Estudante 3 disse que concordava e explicou que é assim que acontece com as teorias; já a Estudante 2 declarou que achava que apenas um pesquisador chegou à conclusão da existência do elétron; ela mencionou que esse cientista seria o Thomson e que Millikan confirmou a sua teoria.

Em seguida, questionamos se um trabalho de descoberta científica poderia ser feito por uma só pessoa, se é possível que apenas um cientista tenha todos os conhecimentos necessários (Objetivos C, E, F, H e N). Os alunos responderam que não.

Segunda resposta: “Demorou tanto, pois não havia tecnologia necessária para tal descoberta. Tudo começou com pesquisadores criando teses, hipóteses sobre elétrons e com o passar do tempo, chegando novos pesquisadores com mais tecnologia e foram confirmando e aprimorando as teses dos seus antecessores”.

Nós perguntamos se os alunos sabiam quem tinha produzido essas tecnologias que foram necessárias para a descoberta do elétron (Objetivos E e F). Os alunos não souberam responder. Então, questionamos se eles achavam que os cientistas que trabalharam na descoberta do elétron tiveram participação no desenvolvimento dessas tecnologias (Objetivos C, E, O e F). A Estudante 3 e a Estudante 2 disseram que eles deveriam ter participado e uma delas, a Estudante 3, falou que uma pessoa não saberia fazer um aparelho desses sem a participação de um cientista.

A Estudante 2 complementou a resposta da problematização, dizendo que a descoberta do elétron demorou não só por causa da falta de tecnologias, mas também por causa da dificuldade de saber se o elétron existia ou não.

A Estudante 4 fez uma pergunta importante, ela quis saber se esses estudos foram feitos antes da descoberta da eletricidade ou depois, pois muitas tecnologias utilizadas precisavam de eletricidade. E então, perguntamos se eles tinham ideia de quais tecnologias eles estavam falando e que tecnologias novas eram necessárias (Objetivos C, E e F). O Estudante 1 respondeu que a tecnologia de antes possuía uma qualidade muito inferior da tecnologia de hoje. E o indagamos se a tecnologia

era ruim comparada com a tecnologia de hoje (Objetivos C, E e F). Os alunos não souberam responder. Foi então que a Estudante 2 disse que era difícil responder, pois eles não sabiam do que estavam falando. Nesse momento todos riram.

Para dar sequência à discussão, questionamos o que era tecnologia (Objetivos C, E e F). O Estudante 1 disse que tecnologia era algo inovador. Questionamos o que era inovador na época da descoberta do elétron (Objetivos C, E e F). Mas os alunos não souberam responder.

A Estudante 4 insistiu em saber se já existia eletricidade naquela época, pois ela achava que a tecnologia que os cientistas estavam usando dependia de eletricidade. E perguntamos que fenômeno os cientistas estavam investigando quando determinaram a existência do elétron. Os alunos não souberam responder.

Nessa aula, as dúvidas dos alunos não eram elucidadas, pois um dos objetivos era criar dúvidas e conflitos cognitivos para que os alunos ficassem curiosos e percebessem a necessidade de se obter mais conhecimento, porém, todas essas questões seriam esclarecidas no decorrer das aulas.

Dessa forma, foi dada sequência à aula com a leitura da próxima resposta.

Terceira resposta: “Pela falta da tecnologia, a tecnologia não era avançada naquela época”.

Como essa resposta era muito parecida com as anteriores, então, o professor fez a leitura da próxima resposta.

Quarta resposta: “Porque a tecnologia não era tão avançada e tão bem preparada quanto é hoje. Ocorreu no final do século XIX e foi resultado dos trabalhos desenvolvidos pelo físico inglês J. J. Thomson, quando ele se interessou pela pesquisa da natureza e propriedades de certas radiações, as quais na época eram conhecidas com a denominação de raios catódicos”.

Então, questionamos novamente qual era o fenômeno que eles estavam estudando (Objetivos C, E, F, H e Q). O Estudante 1 disse que eram os raios. Então perguntamos o que eram os raios catódicos (Objetivos C, E, F, H e Q). Os alunos não souberam responder. Assim, questionamos se era necessário o uso de eletricidade para a produção dos raios catódicos (Objetivos C, E, F, H e Q). O Estudante 1 respondeu que sim e a Estudante 4 afirmou que não. Então, perguntamos o que seria a eletricidade e um raio. O Estudante 5 respondeu que era uma descarga elétrica.

O Estudante 5 tentou explicar como era a experiência; ele alegou que

continha duas chapas e que eles estudavam a coloração dos raios que eram produzidos. Perguntamos o que eles faziam com essas chapas, mas o aluno não se lembrou. Então a Estudante 2 disse que essas chapas ficavam no vácuo. Mas eles não souberam responder como apareciam os raios entre as chapas.

Para dar sequência às discussões, indagamos se eles achavam que o interesse dos cientistas em descobrir o fenômeno veio antes da tecnologia que criou o fenômeno, ou veio junto, ou depois (Objetivos C, E, F, H e O). Alguns alunos responderam que veio antes. Então, conduzimos as discussões no sentido de convergir as opiniões para o fato de que o estudo do fenômeno e a criação da tecnologia podem caminhar juntos (Objetivos C, E, F, H e O). Tivemos o intuito de fazer com que os alunos percebessem que foi a partir da visualização do fenômeno que os cientistas começaram a buscar resposta para o que estavam observando, no caso, os raios catódicos.

Assim, o Professor da Disciplina leu mais uma resposta.

Quinta resposta: “A descoberta do elétron foi demorada, pois para ser comprovada realmente a sua existência cientificamente, é necessário fazer vários experimentos e obter ideias diferentes para serem testados, e isso levou muito tempo para poder chegar à comprovação concreta desse fenômeno. Para a sua descoberta, os cientistas desenvolveram experiências sobre a condução de eletricidade e um dos cientistas envolvidos era William Crookes, mas quem chegou à conclusão da existência do elétron foi o físico inglês Joseph John Thomson, no final do século XIX”.

Questionamos como um cientista pode ter certeza de que descobriu algo novo (Objetivos C, E, F e H). A Estudante 3 disse que ele deveria comprovar. Então, o professor perguntou como comprovaria (Objetivos E, F e H). O Estudante 1 afirmou que deveria ser algo inovador. O Estudante 5 mencionou que na época houve divergências de teorias, mas uma explicava melhor, comprovava melhor. E o professor perguntou como eles chegaram à conclusão de que o elétron tinha sido descoberto (Objetivos C, E, F e H). O Estudante 5 respondeu que foi fazendo um experimento. Continuamos questionando os alunos, mas eles não souberam responder.

Então, mais uma resposta foi lida.

Sexta resposta: “A descoberta do elétron não se deu de um dia pro (sic) outro foi fruto de trabalho, aprimoramento de teses com experiências que dessem

fundamento ao dito, e fora ainda que naquela época tudo era muito pré-histórico, ou seja, quando mais cientistas iam mostrando suas teses mais novo o que significava ser o elétron ficava. Foi descoberto por Thomson em 1897 no laboratório Cavendish, da universidade de Cambridge, enquanto estudava o comportamento dos raios catódicos. Os cientistas envolvidos foram: George Johnstone, Maxwell, George Paget Thomson, Joseph John Thomson, Millikan”.

Indagamos o que era uma tecnologia pré-histórica (Objetivos C, E, F e H) e uma das alunas disse que era pré-histórica se comparada à de hoje. Assim, perguntamos quem sabia produzir um raio catódico (Objetivos C, E, F e H). Nenhum dos alunos respondeu que sabia. Então, o Estudante 1, que havia colocado essa resposta no fórum, admitiu que errou nessa colocação. Nós perguntamos se essa tecnologia, os raios catódicos, ainda é usada. Como os alunos não souberam responder, demos o exemplo da televisão de tubo (Objetivo M).

Para finalizar a aula, foram expostas aos alunos algumas questões que não foram respondidas na aula. Os alunos foram orientados a estudarem a linha do tempo no AVA para esclarecer o que não foi respondido e, na aula seguinte, eles seriam avaliados individualmente em relação às informações contidas na linha do tempo (Objetivos B, M, N, O, P, Q, R e S).

4.6 CONSIDERAÇÕES SOBRE A TERCEIRA AULA

4.6.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

Com as discussões promovidas durante a aula, podemos perceber que alguns objetivos foram atingidos, como:

- Objetivos A, E e F: pois alguns estudantes participaram da discussão, levantando hipóteses, complementando ou corrigindo as respostas dos colegas.
- Objetivo N: por meio das respostas de alguns estudantes, verificamos que eles perceberam que a descoberta do elétron foi um processo que envolveu o trabalho de vários cientistas.
- Objetivo P: percebemos que alguns alunos conseguiram compreender algumas relações entre a descoberta do elétron e as condições históricas que viabilizaram a sua descoberta.

- Objetivo D: a Estudante 4 participou da discussão realizando perguntas, além de responder às perguntas da aula.
- Objetivo Q: os Estudantes 2 e 5 esboçaram algum conhecimento em relação ao aparato experimental.

4.6.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

Consideramos que essa aula foi muito produtiva. Por meio das discussões, conseguimos perceber o que os alunos tinham conseguido entender a respeito do tema, além de detectar falhas no conhecimento. Dessa forma, possibilitou um melhor planejamento das aulas posteriores para suprir as dificuldades que constatamos nos alunos.

Um fato muito importante ocorreu nessa aula: o questionamento de uma aluna acerca da precedência do conhecimento sobre eletricidade em relação ao desenvolvimento dos aparatos que seriam utilizados na descoberta do elétron. A Estudante 4 queria saber se na época da descoberta do elétron a eletricidade já existia, pois percebeu que os equipamentos experimentais utilizados para obter a razão carga/massa do elétron dependiam da eletricidade para funcionar. Certamente, as perguntas relativas ao desenvolvimento tecnológico do aparato experimental utilizado por Thomson foram motivadoras da dúvida da aluna. Muito provavelmente, não teria sido possível despertar esse conflito epistemológico na aluna em uma aula tradicional, em que o método experimental não fosse o foco de discussão.

Como o intuito desse tipo de metodologia não é o de expor todos os conhecimentos para os alunos, mas, sim, incentivá-los a refletir e buscar esses conhecimentos, então, nós não respondemos prontamente à pergunta da aluna, mas, no decorrer da discussão, ela conseguiu perceber que a tecnologia usada pelos cientistas necessitava, de fato, do conhecimento prévio da eletricidade.

Consideramos justificado, aqui, o emprego do método maiêutico para a construção do conhecimento científico dos alunos sobre o desenvolvimento tecnológico associado à descoberta do elétron. O uso de questionamentos estimula, no aluno, estruturas mais complexas de pensamento ao provocar conflitos conceituais e procedimentais.

4.7 RELATO DA QUARTA AULA

Para essa aula, foram elaboradas várias questões para serem respondidas pelos alunos. O objetivo foi verificar se eles tinham estudado a linha do tempo e esclarecer quaisquer dúvidas (Objetivos E, F, N, O, P, Q, R e S).

Primeira pergunta - Qual a relação entre a Revolução Industrial e a descoberta do elétron (Objetivos E, F e P)?

O Estudante 1 respondeu de forma bastante confusa, mas concluiu que foi o avanço da tecnologia e que isso era melhor para os cientistas. A Estudante 6 tentou complementar a resposta, dizendo que na Revolução Industrial houve maior desenvolvimento da tecnologia, o que auxiliou na descoberta do elétron.

Segunda pergunta - Explique se apenas os cientistas citados na linha do tempo contribuíram para a descoberta do elétron (Objetivos E, F e N).

A Estudante 2 disse que não, que foi escolhido um dos cientistas como ponto de início e que outros cientistas que não foram citados também tiveram participação.

Terceira pergunta - Como era o aparato experimental utilizado por Thomson? Faça o esboço do aparato (Objetivos E, F e Q).

O Estudante 1 foi até a lousa para fazer o desenho. Ele afirmou que tinha um “negócio” que parecia uma lâmpada (provavelmente se referindo ao tubo de vidro do aparato experimental), que tinha duas placas de metal e também tinha dois aparelhos que ele não sabia o nome (referia-se às fontes de tensão). A Estudante 2 complementou a explicação, dizendo que as placas ficavam no vácuo, as extremidades eram ligadas em uma carga negativa e uma carga positiva e que tinha algo sobre o mercúrio (o qual é mencionado no texto como auxiliar na antiga técnica de produção do vácuo no tubo de vidro).

Quarta pergunta - Como funcionava o aparato experimental utilizado por Thomson (Objetivos E, F e Q)?

Como ninguém se voluntariou para responder à pergunta, então foi sorteado um nome para responder. Apenas o terceiro aluno sorteado, o Estudante 5, tentou responder. Ele mencionou que o experimento era ligado na eletricidade, tinha um positivo e um negativo (referindo-se às polaridades das conexões) e aquilo gerava os raios catódicos, com movimento horizontal (provavelmente referindo-se ao sentido de propagação dos raios). O Estudante 7 complementou, dizendo que dentro

de uma ampola eram colocadas duas placas de metal, era criado o vácuo, emitia a eletricidade na ampola e quanto mais vácuo, mais os raios brilhavam.

Como nenhum dos alunos soube responder satisfatoriamente, apresentamos o funcionamento do experimento. Inicialmente, mostramos uma foto do tubo original que Thomson utilizou no experimento. Posteriormente, utilizamos um esquema para auxiliar na explicação. Aproveitamos as respostas dos estudantes e complementamos a explicação com maiores detalhes. Explicamos que dentro do tubo era feito o vácuo, que o catodo (placa de metal) era ligado ao polo negativo de uma fonte e ficava com excesso de cargas elétricas negativas (elétrons), como essas cargas negativas recebiam energia, elas ficavam menos ligadas (menos presas) ao material e mais susceptíveis a escapar. Então, perguntamos aos alunos o que aconteceria se o anodo (o outro metal) fosse ligado ao polo positivo. Os alunos disseram que ocorreria a atração. E confirmamos que os elétrons seriam atraídos. Seria criado um campo elétrico, que exerceria uma força nos elétrons, atraindo-os para a placa positiva.

Também esclarecemos o que ocorre no colimador para formar um feixe estreito. Nisso, a Estudante 2 perguntou o porquê da coloração observada. Elucidamos que, aumentando o vácuo, diminuía a quantidade de matéria dentro do tubo e esse vácuo é importante para viabilizar que os elétrons percorram o tubo com maior facilidade. Os elétrons do feixe “se chocam” com as moléculas do gás que restaram dentro do tubo, e cada vez que eles “se chocam”, eles excitam a molécula (transferem energia para os elétrons da molécula). Quando os elétrons que foram excitados perdem a energia em excesso, boa parte dessa energia é emitida na forma de luz, daí resultando a luminescência dos raios catódicos.

Depois, explicamos que as placas condutoras paralelas são ligadas, uma no polo positivo e outra no polo negativo de uma fonte de tensão, como alguns estudantes chegaram a mencionar. Quando o feixe de elétrons passa entre as placas, o feixe é atraído para a placa que está ligada no polo positivo, ocasionando uma deflexão. Os raios não “se chocam” com as placas, pois suas partículas estão com uma velocidade muito alta.

Fizemos uma comparação da nossa explicação com o desenho do aluno na lousa. Nesse momento, explicamos que a representação do aluno era a do experimento que seria utilizado por eles mais adiante no curso e que era um pouco diferente daquele utilizado por Thomson. Mas explicamos que a ideia do

experimento era a mesma, embora o formato do tubo de raios catódicos tenha mudado.

Depois, perguntamos se alguém já tinha visto algum fenômeno parecido com o que é visto no experimento. E o Estudante 8 questionou se a esfera de plasma seria um exemplo. Respondemos que o princípio é semelhante.

Posteriormente, continuamos explicando o experimento. Esclarecemos sobre as bobinas de Helmholtz de forma simplificada, explicando que quando passa corrente elétrica pelos fios que formam as bobinas, ela cria um campo magnético, ou seja, as bobinas passam a ter o papel de um eletroímã (ímã não natural). E que Thomson colocou o tubo entre essas bobinas e o campo magnético produzido também desviava os feixes.

Quinta pergunta - Quais foram os melhoramentos que os cientistas citados na linha do tempo realizaram para o tubo utilizado por Thomson (Objetivos E, F, P e Q)?

A Estudante 6 disse que um dos melhoramentos foi o formato. Mas esclarecemos que o formato não representava um melhoramento. A Estudante 2 perguntou se seriam as máquinas de tensão. Explicamos que a tensão era importante para criar campo elétrico. Para dar sequência, perguntamos se Thomson poderia ter utilizado um ímã natural. Os alunos não souberam responder, então explicamos que, com o uso das bobinas, além de ser possível controlar a intensidade do campo magnético, também era possível criar um campo magnético uniforme.

Lembramos aos alunos que um dos cientistas havia utilizado um ímã e que, portanto, as bobinas representavam uma melhoria para o experimento.

A Estudante 2 também expressou que os tubos de Crookes eram diferentes dos de Geissler.

Recordamos que a Estudante 6 tinha comentado sobre o mercúrio, e explicamos que o uso do mercúrio para melhorar o processo de fazer vácuo também foi outro melhoramento.

Sexta pergunta - Quais foram as interpretações dos cientistas, citados na linha do tempo, em relação ao feixe de raios catódicos (Objetivos E, N, O, P e Q)?

O professor escolheu a Estudante 9 para responder a pergunta. Ela disse que lembrava que um dos cientistas achava que era um feixe luminoso (fazendo menção à natureza luminosa do raio) e que foi usado um ímã e foi descoberto que

não era um feixe luminoso (provavelmente em referência à observação de alguns cientistas de que o feixe era defletido por um ímã). Então, explicamos que, com um ímã, não é possível mudar a direção de um feixe de luz e que, portanto, o feixe não poderia ser luminoso, mas sim constituído por cargas elétricas em movimento.

Para complementar as respostas, a Estudante 2 expressou que Thomson tentou descobrir a massa do elétron. E esclarecemos que, na verdade, ele determinou a razão entre o valor da carga elétrica e da massa do elétron e, em seguida, questionamos como Thomson concluiu que tinha descoberto algo novo. A Estudante 9 respondeu que o átomo era conhecido como a menor partícula, e com isso, foi possível determinar que o elétron era menor. Assim, complementamos a explicação da aluna.

Ainda para complementar as respostas, o Estudante 7 falou um pouco sobre as contribuições de Geissler e Plücker e o Estudante 1 comentou sobre Varley, que considerou que o fenômeno era algo sobrenatural.

Nisso, comentamos que eles sabiam muita coisa e o Estudante 1 disse que eles tinham medo de errar.

No final da aula, os alunos receberam uma folha contendo todas as perguntas que foram feitas na aula. Os alunos deveriam responder essas perguntas em casa e esse material seria avaliado (Objetivos B e L). O objetivo era o de reforçar a assimilação dos conhecimentos discutidos na aula.

4.8 CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUARTA AULA

4.8.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

Nessa aula, os objetivos B, E e F foram contemplados em parte. Percebemos que a maioria dos alunos havia estudado a linha do tempo devido à participação dos mesmos nas discussões. Porém, em todas as aulas, alguns alunos nunca participavam das discussões e não conseguimos identificar se essa postura ocorria por falta de conhecimento, timidez, medo de errar, ou desinteresse.

Os objetivos N, O, P, Q, R e S também não foram atingidos satisfatoriamente. Porém, esse fato não nos surpreendeu. Esses objetivos estavam relacionados com a leitura dos textos dispostos no AVA sobre o conteúdo conceitual, a história da descoberta do elétron e o aparato experimental e, de uma forma geral,

os alunos possuem dificuldades com leitura e interpretação de textos. Mesmo assim, percebemos que os alunos conseguiram compreender uma parte considerável das informações necessárias e acreditamos que as discussões promovidas em sala de aula foram úteis para elucidar várias lacunas de conhecimentos.

4.8.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

Consideramos que essas aulas dialogadas foram muito produtivas, pelo fato de podermos verificar se os alunos tinham conseguido compreender o conteúdo abordado e como estavam constituindo as suas habilidades de comunicar, argumentar, informar, criticar e expressar hipóteses. Assim, pudemos sanar dúvidas relacionadas ao conteúdo e averiguar quais eram as suas maiores dificuldades.

Entretanto, constatamos que vários alunos não participavam ativamente dessas aulas. Eles permaneciam presentes, mas não se manifestavam durante as discussões promovidas. Para procurar incentivar que todos estudassem a Linha do Tempo, foi adotado o sistema de sorteio para responderem algumas perguntas, porém, mesmo assim, alguns se recusaram a participar.

Consideramos que o maior desafio é justamente envolver os estudantes nas discussões promovidas em sala de aula. Possivelmente, a razão da não participação desses estudantes nas discussões é reflexo do estilo do ensino tradicional, no qual a prioridade consiste no cumprimento do conteúdo da disciplina e o espaço para o aluno se manifestar praticamente inexistente. Parece-nos que ao longo do seu percurso escolar, ao mesmo tempo em que o processo de ensino das disciplinas científicas vai se distanciando de uma característica interdisciplinar e assumindo uma natureza especializada, o aluno vai perdendo seu espaço de questionar, investigar, experimentar e passa a desenvolver medo de errar, uma postura excessivamente tímida, ou um desinteresse pelos objetos de aprendizagem. Assim, uma mudança do aluno para uma postura mais participativa não possui solução imediata, mas é importante que esse aspecto seja trabalhado ao longo do tempo, a fim de contribuir para o seu crescimento escolar, pessoal e profissional.

4.9 RELATO DA QUINTA AULA

O principal objetivo dessa aula foi o de verificar se os alunos haviam estudado e compreendido o aparato experimental. Esse aspecto era fundamental para que o estudante conseguisse realizar a montagem virtual do aparato e elaborar um roteiro para a experiência.

O Professor da Disciplina iniciou a aula lembrando aos alunos que faltavam poucos dias para a realização da experiência. Assim, a seguinte problematização foi colocada: “Daqui a algumas aulas, vocês vão realizar um experimento semelhante ao de Thomson para verificar a existência do elétron, a partir da determinação da razão carga/massa dessa partícula. Como vocês vão determinar a existência do elétron utilizando o aparato experimental disponibilizado?” (Objetivos A, E, F, G, Q, R e S).

O intuito da problematização foi começar a preparar o aluno para formular um roteiro para realizar a experiência. Porém, eles ainda não possuíam conhecimentos suficientes para realizar um planejamento desse tipo. Portanto, nessa aula foram abordados vários pontos importantes para possibilitar ao aluno atingir o objetivo proposto.

Após a apresentação da problematização, o Professor da Disciplina perguntou aos alunos se eles tinham ideia da resposta (Objetivos E, F e H). Depois de alguns segundos de reflexão, o Estudante 1 respondeu que o gerador iria gerar carga (referia-se à fonte de tensão conectada ao tubo), gerando energia elétrica. O multímetro iria medir a corrente elétrica e, do lado do tubo, estariam as bobinas e cada uma criaria uma carga (sic), positiva e negativa.

O professor perguntou se o Estudante 1 havia se esquecido de algum equipamento. O Estudante 1 lembrou que o experimento possuía duas fontes, mas ele não soube explicar a diferença entre elas.

Então, perguntamos o que seria feito com todos esses equipamentos, pois, além dos alunos conseguirem identificá-los e indicar a função de cada um, eles deveriam entender como tudo isso funcionaria em conjunto (Objetivos E, F, H e Q).

O Estudante 7 respondeu que todos esses equipamentos deveriam ser conectados ao tubo e este receberia uma voltagem. Assim, indagamos o que iria acontecer depois que o equipamento estivesse ligado e recebendo energia. O Estudante 1 respondeu que seriam “criados” os raios catódicos. Perguntamos o que

deveria ser feito depois que os raios catódicos aparecessem. E o Estudante 1 disse que “deveria mexer nos botões” do aparato.

Continuamos questionando os alunos para tentar fazer com que eles chegassem à resposta correta, de que mexendo nos potenciômetros da fonte de tensão seria possível defletir os raios catódicos. Porém, como nenhum aluno conseguiu responder corretamente, os questionamos sobre o porquê da dificuldade em explicar o funcionamento do aparato. O Estudante 1 alegou que faltava ver o aparato funcionando e não apenas ver as imagens. A Estudante 2 concordou e disse que eles deveriam ver o aparato em funcionamento porque eles só conseguiam imaginar e a imaginação podia não estar certa.

Então, perguntamos se eles tinham conseguido entender como funcionava cada equipamento, como por exemplo, as bobinas. O Professor da Disciplina projetou a imagem do aparato experimental. O Estudante 1 respondeu que as bobinas faziam o papel das placas metálicas do antigo experimento (no experimento original de Thomson essas placas tinham a função de defletir os raios catódicos). Perguntamos se os outros alunos concordavam com o Estudante 1, mas ninguém se manifestou.

Assim, explicamos que se os alunos não compreendessem o papel de cada equipamento no experimento, eles não conseguiriam entender como o experimento funcionava.

Então, foi estabelecida uma discussão para esclarecer quaisquer dúvidas sobre o aparato experimental, os equipamentos que o constituía, o papel de cada equipamento e o funcionamento do aparato (Objetivos E, F e Q). O principal objetivo dessa atividade foi o de auxiliar os estudantes a compreenderem os conceitos físicos relacionados ao experimento e ao seu cotidiano.

O Professor da Disciplina, utilizando o desenho que estava projetado (Figura 13), começou a perguntar a função de cada equipamento. Primeiro, ele perguntou qual seria a função das fontes de tensão. A Estudante 6 afirmou que servia para regular a energia que passaria no equipamento. O professor perguntou qual seria a diferença entre as fontes de tensão. A Estudante 6 respondeu que a fonte da esquerda estava conectada ao multímetro e às bobinas. Já o Estudante 1 achava que essa fonte estava conectada ao tubo.

Depois, o professor clicou na fonte da esquerda e a descrição da fonte foi projetada. Ele esclareceu que essa fonte estaria ligada ao tubo e pediu para os

alunos relatarem o que eles lembravam sobre o que haviam estudado sobre a fonte. O Estudante 1 respondeu que a fonte “faria” uma diferença de potencial elétrico. Perguntamos o que ele entendia por diferença de potencial. Ele e os demais alunos não souberam responder, então, perguntamos que outras fontes eles conheciam. A Estudante 2 lembrou da bateria e como não houve mais manifestações, foram mostrados outros tipos de fontes.

Já era esperado que os alunos não soubessem relacionar os conceitos apresentados na escola com o cotidiano, pois nós já havíamos experienciado diversas situações dessa natureza. Por isso, a apresentação de outras fontes de tensão que eles já conheciam foi muito importante para que eles conseguissem estabelecer uma relação e entender a função das fontes do experimento. Assim, mostramos: uma bateria de carro, uma bateria de celular e uma pilha, que são fontes que não precisam estar conectadas em outra fonte de tensão e convertem sua energia química em energia elétrica, fornecendo uma determinada diferença de potencial. E depois, mostramos um carregador de celular, uma fonte de computador e uma fonte estabilizada, que precisam ser alimentados por uma tensão externa (de 110V ou 220V) e que geram uma tensão menor para os equipamentos aos quais estão conectados.

Posteriormente, apresentamos as fontes de tensão do experimento e comparamos com as fontes anteriores. Explicamos que as fontes do experimento poderiam receber uma tensão de 110V ou 220V, mas iriam ceder uma tensão controlável, ou seja, os valores das tensões de saída das fontes do experimento poderiam ser fixados pelo usuário.

Em sequência, o Professor da Disciplina perguntou qual a função dos multímetros. A Estudante 6 respondeu que era para verificar se estaria passando energia pelo equipamento e que o multímetro poderia medir a amperagem e a voltagem. O professor explicou que um multímetro também poderia medir a capacitância e a resistência elétrica. Perguntamos se alguém já havia manuseado um multímetro e a Estudante 6 respondeu que sim.

Depois, o professor perguntou qual seria a função do tubo. Os alunos não souberam responder e, então, os questionamos sobre o que seria visto dentro do tubo e os alunos responderam que seria o feixe de elétrons (raios catódicos).

O Professor da Disciplina os questionou ainda mais sobre o funcionamento do tubo e o comportamento do feixe dentro do mesmo, de tal forma que fosse

possível realizar a experiência e conseguir descobrir a razão carga/massa do elétron. E os questionou se seria possível realizar o experimento mantendo inalterada a direção de propagação do feixe. Então, a Estudante 6 disse que deveria alterar o comportamento do feixe, ajustando a tensão da fonte ligada ao tubo. O Estudante 1 disse que deveria mudar o formato. O professor perguntou qual seria a função das bobinas no experimento e o Estudante 1 respondeu que seria para causar deflexão.

Porém, os alunos ainda não tinham aprendido o conteúdo sobre eletromagnetismo. Então, nessa aula, foi iniciado o estudo dos fenômenos eletromagnéticos.

O professor projetou na lousa um vídeo que abordava o conceito de campo magnético. Esse vídeo expunha a importância do magnetismo na vida dos seres vivos e contava um pouco da história do magnetismo. Após a apresentação do vídeo, o professor perguntou o que eles haviam entendido sobre o campo magnético. A Estudante 6 disse que estava relacionado com energia e que mantinha as pessoas no chão (confundiu campo magnético com campo gravitacional). O professor perguntou, então, qual seria a função do campo gravitacional. A aluna explicou que o campo gravitacional mantém a Terra girando em torno do Sol. Essa confusão foi esclarecida mais tarde.

O professor mostrou mais uma parte do vídeo que exibia um pouco da história do estudo do magnetismo com a eletricidade, o eletromagnetismo. No final do vídeo, com o intuito de verificar se essas explicações estavam ficando claras, perguntamos aos alunos se eles já haviam percebido a presença do campo magnético em algum evento do cotidiano. De início, eles não souberam responder, até que o Estudante 1 associou o campo magnético com um ímã. Assim, explicamos que essa parte do vídeo mostrava que outros materiais também poderiam exibir campo magnético e perguntamos como isso acontecia. Os alunos não souberam responder, fizemos mais perguntas para direcionar as respostas até o conceito correto.

Depois, mais uma parte do vídeo foi exibido. Essa parte apresentou o campo magnético criado por uma corrente elétrica percorrendo um fio, uma espira e uma bobina. Após a apresentação do vídeo, discutimos sobre o campo magnético criado por uma bobina. Depois, foi feita a seguinte pergunta: quais as vantagens de se utilizar o campo magnético criado por bobinas?

Esse assunto já havia sido comentado em outras aulas. A Estudante 6 respondeu que poderia controlar o campo magnético utilizando as bobinas, aumentando ou diminuindo a tensão (na verdade, a corrente elétrica percorrendo as bobinas).

Como os alunos ainda continuavam com dúvidas sobre o campo magnético criado por corrente elétrica, questionamos se alguém já havia visto um eletroímã e demos um exemplo. Esclarecemos mais dúvidas dos alunos sobre o tema, instigando outras discussões.

Para elucidar um pouco mais sobre o assunto, explicamos que o aparato experimental era constituído por dois circuitos: um, era formado por uma fonte, um multímetro e o tubo, e o outro, era formado por uma fonte, um multímetro e as bobinas. E, assim, a aula foi finalizada.

4.10 CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUINTA AULA

4.10.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

Novamente, pudemos perceber que os objetivos E e F foram parcialmente alcançados, pois, nem todos os alunos interagiram com os professores ou tentaram responder as questões propostas.

Além disso, as dificuldades que os alunos apresentaram na compreensão do aparato experimental e em relacionar alguns de seus componentes ao cotidiano são compreensíveis, em razão da pouca ou nenhuma programação de atividades experimentais e da pouca relação que as metodologias e materiais didáticos tradicionais fazem com eventos do cotidiano. Assim, a partir das falas dos estudantes, percebemos que os objetivos G, Q, R e S tinham sido parcialmente atingidos, pois os alunos não haviam compreendido integralmente o conteúdo necessário. Dessa forma, promovemos mais discussões no sentido de superar as falhas de conhecimento.

Entretanto, percebemos que esses alunos apresentaram uma atitude ativa na busca do conhecimento (Objetivo B) e alguns conseguiram relacionar teoria e prática. Como exemplo, o Estudante 1 associou conceitos da Física com os equipamentos e instrumentos de medida presentes no aparato experimental, realizando uma transposição da teoria para a prática ou para situações do cotidiano,

o que não é facilmente percebida no processo tradicional de ensino. Muitos estudantes se queixam, inclusive, de que não percebem a presença da Física na realidade concreta.

Outro aspecto positivo envolvia os objetivos D e E; alguns alunos se envolveram nas discussões para complementar as respostas de colegas que estavam com dificuldades em se expressar. Quando um aluno procura auxiliar o outro na resposta a uma mesma questão, corrigindo-o ou completando suas ideias, cria-se um ambiente de cumplicidade na aprendizagem, favorecendo o estabelecimento de um espaço de construção coletiva do conhecimento. Essa maneira de se relacionar com o conteúdo da matéria a ser aprendida é pouco exercitada nas aulas, que se valem de metodologias de ensino expositivas tradicionais.

4.10.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

No planejamento da sequência didática foi necessário incluir as discussões sobre o aparato experimental, que é composto, também, por multímetros e fontes. O Professor da Disciplina já havia explicado aos alunos o que seriam esses componentes e suas funções nas aulas teóricas anteriores a essa. Porém, para a discussão do aparato experimental, foi necessário que os alunos fizessem uma relação entre o que eles já haviam aprendido com os dispositivos do aparato. Para isso, no planejamento da aula, o professor incluiu exemplos de fontes mais próximas ao cotidiano dos alunos.

Essa preocupação em relacionar o cotidiano do aluno com o que ele aprende em sala de aula mostrou-se muito importante, pois, no desenvolvimento dessa aula, percebemos que os alunos tinham uma representação teórica de uma fonte de tensão e até sabiam operar com essa representação em um circuito elétrico teórico, mas não tinham uma ideia (modelo mental) de como seria uma fonte de tensão real. Apenas a Estudante 6 participou da discussão sobre a função de uma fonte de tensão, porque trabalhava em uma loja que vendia equipamentos elétricos e, assim, demonstrou saber mais sobre fontes de tensão e multímetros. A discussão só fluiu após o Professor da Disciplina apresentar imagens e comentar sobre outras fontes de tensão usuais.

Deve-se ressaltar que a forma abstrata e usual de ensinar circuito elétrico e

seus componentes elétricos aos estudantes, valendo-se de símbolos e esquemas, não produz uma compreensão real do que está sendo ensinado e, mesmo que o estudante consiga manipular com alguma destreza a teoria subjacente a tais conceitos, não significa que ele tenha a noção de como é, na realidade, cada dispositivo ou circuito elétrico.

Esse fato justifica completamente o uso da experimentação no processo de ensino.

Outro aspecto positivo dessa metodologia está relacionado com os conhecimentos que os estudantes podem trazer do seu cotidiano. O Estudante 1, por exemplo, comentou sobre o dispositivo “fusível”, que não havia sido mencionado em aula. Alguns alunos podem trazer, inclusive, conhecimentos que, eventualmente, não são de domínio do professor, o que não pode ser encarado, pelo professor, como um problema para a aula. Nesse processo de permuta de conhecimentos, tanto o professor quanto o aluno tendem a ganhar conhecimento. Como exemplo, a Estudante 6 trouxe o conhecimento do seu ambiente de trabalho, onde lidava com fontes chaveadas e estabilizadas. Isso evidencia o potencial de uso de conhecimentos do cotidiano do aluno como promissor para uma construção significativa do conhecimento no tema.

Um ponto importante que nos chamou a atenção foi o fato de um estudante ter mencionado que ainda não tinham observado o aparato experimental em funcionamento. Apesar dos alunos poderem navegar livremente pelo AVA, eles não tentaram ou não conseguiram manipular o experimento. Concluímos que, em uma próxima aplicação, seria interessante que os alunos manipulassem o experimento no início da mesma, dessa forma, eles poderiam começar a se familiarizar com o experimento o quanto antes.

4.11 RELATO DA SEXTA AULA

Percebemos que, na aula anterior, o conteúdo sobre ímãs e campos magnéticos não havia sido totalmente compreendido. Portanto, desenvolvemos uma aula expositiva-argumentativa com o intuito de esclarecer esse conteúdo, que é fundamental para o entendimento do funcionamento do aparato experimental (Objetivo Q e S).

Para essa aula, o Professor da Disciplina preparou uma apresentação

contendo informações sobre os ímãs, exemplos e propriedades dos ímãs, campo magnético e linhas de indução. Além disso, também preparamos o conteúdo sobre campo magnético criado por correntes elétricas percorrendo um fio condutor, uma espira, uma bobina, ou as bobinas de Helmholtz. Além do conteúdo conceitual, também fizemos uma apresentação dos cálculos necessários para obter a intensidade da força magnética e do campo magnético para cada caso.

Para a construção do conhecimento relacionado a essa aula, o professor promoveu discussões para aproveitar o conhecimento que os estudantes possuíam. Porém, como grande parte do conteúdo constituía-se de algo novo para o estudante, a fala do professor foi predominante.

A partir dos conhecimentos sobre eletromagnetismo, o professor começou a mostrar como foi deduzida a equação para o cálculo da razão carga/massa do elétron. O final dessa demonstração ocorreu na aula seguinte.

4.12 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SEXTA AULA

4.12.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

Conforme almejado nos objetivos E e F, os alunos participaram das discussões promovidas. Porém, nessa aula a exposição do conteúdo pelo professor predominou em relação à interação dos alunos.

4.12.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

Essa aula não estava no cronograma, pois não havíamos previsto que os alunos teriam dificuldades em compreender o conteúdo sobre magnetismo. Devido a isso, preparamos essa aula com a utilização de vídeos e imagens para auxiliar na visualização, principalmente, da representação do campo magnético. Esses conceitos são muito importantes para a compreensão do funcionamento do aparato experimental.

O fato de termos promovido várias discussões com os alunos permitiu que avaliássemos a aprendizagem e dificuldades dos estudantes. Dessa forma, constatamos a necessidade de incorporar essa aula na sequência didática. Isso indica uma vantagem dessa metodologia em relação aos métodos tradicionais, pois em avaliações tradicionais (provas), essa necessidade só seria percebida

tardamente.

Em sequência, ministramos a aula sobre eletromagnetismo. Normalmente, em um planejamento comum do 3º ano do ensino médio, esse conteúdo só é ministrado no quarto bimestre. Porém, como essa matéria é essencial para a realização da experiência, o planejamento da disciplina foi tal que esse conteúdo foi introduzido antes, sem lacunas de conteúdo.

4.13 RELATO DA SÉTIMA AULA

O início dessa aula contemplou os mesmos objetivos da aula anterior, pois, foi uma continuação do conteúdo.

O Professor da Disciplina iniciou a aula lembrando as deduções das equações da aula anterior. Assim, chegou-se à seguinte equação:

$$e/m = 2U/(B^2r^2)$$

na qual e é a carga do elétron, m é a sua massa, U é a diferença de potencial acelerador do feixe, r o raio da trajetória do feixe e B o módulo do campo magnético, dado por

$$B = (\mu_0 NiR^2)/(R^2 + a^2)^{3/2}$$

sendo μ_0 a permeabilidade magnética do ar, N o número de espiras de uma bobina e a a distância entre as duas bobinas (igual ao raio R).

Então, o Professor da Disciplina explicou que era necessário substituir a equação do campo magnético (segunda equação) na equação da razão carga/massa (primeira equação) e simplificar a equação final. O professor perguntou se os alunos conseguiriam realizar essa atividade, mas nenhum aluno se manifestou. Como esse processo de manipulação de equações não é simples para os alunos, principalmente nesse caso, então só foi apresentada a equação final de forma simplificada.

$$U = (ke/m) i^2$$

sendo que, $k = 2,875 \times 10^{-7} r^2$, onde r é o raio do feixe de elétrons.

Quando os alunos viram essa última equação eles a acharam bastante

simples. Mas foi explicado que o processo não era tão simples e que a equação tinha sido simplificada para ser utilizada, além do que, os valores das constantes tinham sido colocados e calculados.

Então, o Estudante 1 observou que a fórmula que eles iriam utilizar na realização do experimento remoto seria apenas a última.

Por mais que não seja necessário que os alunos consigam realizar essas deduções e que esse processo seja complicado para eles, é importante que eles compreendam que as equações não surgem do nada, que cada letra possui um significado no mundo real (Objetivo O). Para se chegar a essa equação final, abordamos vários conceitos importantes sobre o comportamento do feixe de elétrons, como por exemplo, a velocidade do elétron no feixe e a deformação do feixe causada pelo campo magnético produzido pelas bobinas (Objetivo O).

Para começar a discutir o roteiro para a realização da experiência, o professor colocou mais duas questões (Objetivos E, F e I):

Quais equipamentos você vai controlar durante a realização do experimento?

Como você vai controlar cada equipamento durante a realização do experimento?

A Estudante 2 e a Estudante 6 disseram que iriam controlar a fonte e o multímetro. Então questionamos sobre o que eles iriam controlar no multímetro e depois, qual a função do multímetro. O Estudante 10 disse que o multímetro media corrente e diferença de potencial. Esclarecemos que no experimento existiam dois multímetros: um, para medir a corrente elétrica, e o outro, para medir a diferença de potencial elétrico e eles não seriam controlados, pois apenas registravam os respectivos valores.

Devido a uma dúvida do Estudante 1, lembramos aos alunos que, quando manipulassem o experimento, o equipamento real iria entrar em funcionamento lá no laboratório em que se encontrava, na UFU. O Estudante 1 perguntou quem iria girar o botão lá na UFU. Então, explicamos como o equipamento funcionaria a distância.

Perguntamos o que seria, portanto, manipulado. A Estudante 6 disse que seriam as fontes. Como não houve muitas manifestações sobre o assunto, percebemos que os alunos continuavam com dúvidas em relação ao que seria manipulado e esclarecemos todas essas dúvidas.

Assim, o Estudante 1 concluiu que uma das fontes seria controlada para

aplicar certa “voltagem” e aumentar ou diminuir o campo magnético das bobinas para causar a deflexão no feixe de elétrons. Com a nossa ajuda, os alunos conseguiram chegar à conclusão de que a fonte de tensão seria manipulada para aumentar ou diminuir o campo magnético.

Assim, iniciamos o estudo da equação:

$$U = (ke/m) i^2$$

O Professor da Disciplina perguntou se eles já haviam visto alguma equação parecida na Matemática. Os alunos não souberam responder. Perguntamos se eles se lembravam de ter estudado *função* e eles disseram que sim, mas não souberam explicar o que era uma função. Então, apresentamos um exemplo para explicar uma função.

Comparamos o exemplo apresentado com a equação do experimento e perguntamos o que seria constante e o que seria variável (Objetivo R). O Estudante 1 respondeu que o k seria uma constante. Questionamos os alunos o que seria o r e o Estudante 10 soube responder corretamente, dizendo que seria o raio da circunferência formada dentro do tubo (o feixe de elétrons).

Dessa forma, promovemos mais discussões para esclarecer o fenômeno que ocorreria dentro do tubo, a curvatura do feixe de elétrons.

Após essa discussão, esclarecemos que essas últimas aulas tinham sido importantes para encontrar a equação que seria utilizada para se calcular o valor da razão carga/massa do elétron. Pedimos que os alunos olhassem a equação e tentassem dizer o que deveria ser manipulado e observado para descobrir o valor da razão carga/massa (Objetivos Q e R). Assim, perguntamos se o valor de k seria mudado. Os alunos responderam que não. Questionamos sobre o que deveria ser feito com o r para que o k fosse constante e o Estudante 10 disse que o raio do feixe deveria ser fixado. Então, perguntamos se o valor de e/m era conhecido. Os alunos responderam que não e confirmamos que aquele era o valor procurado. Perguntamos o que era o i e o U e os alunos responderam corretamente.

Continuamos a promover discussões até que os alunos concluíssem que alterando a corrente i , o campo magnético seria alterado, produzindo um maior ou menor raio do feixe de elétrons. E, para esclarecer ainda mais, mostramos a imagem do feixe de elétrons.

Posteriormente, questionamos sobre o que era variável na equação. E a Estudante 2 disse, corretamente, que seriam a corrente e a tensão.

Então, comparamos a equação do experimento à uma função linear.

Posteriormente, perguntamos se existiria uma forma melhor de escrever a equação do experimento para realizar os cálculos se o que estávamos procurando era a razão e/m . Então, o Estudante 1 sugeriu isolar a razão e/m e se voluntariou para fazer essa manipulação na lousa. E com a nossa ajuda, ele conseguiu deixar a equação da seguinte forma:

$$\frac{e}{m} = \frac{U}{k i^2}$$

As discussões continuaram até que o Estudante 10 concluiu que os dados necessários para obter a razão carga/massa seriam os valores de U e i .

As discussões continuaram acerca de um resultado encontrado com apenas uma coleta de dados, se esse resultado seria confiável. Até que o Estudante 10 concluiu que seria necessário coletar mais dados para se obter um valor mais confiável.

Além disso, discutimos o que fazer com todos esses resultados e o porquê de ser necessário coletar mais dados ao invés de um só.

No final da aula, os alunos receberam uma atividade (Apêndice B) para ser realizada em casa. Essa atividade iria auxiliá-los a reforçarem o conhecimento sobre o aparato experimental e a montarem o aparato experimental virtualmente (Objetivos B, J e Q).

4.14 CONSIDERAÇÕES SOBRE A SÉTIMA AULA

4.14.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

No geral, a dedução e manipulações de equações se apresentam como algo complicado para os estudantes, pois eles possuem dificuldades com a interpretação e a manipulação de fórmulas matemáticas. No decorrer dessa aula, e a partir dos comentários e expressões dos alunos, percebemos que essas dificuldades realmente se concretizavam entre eles. Entretanto, não podemos desvincular a

Física da Matemática e devemos proporcionar recursos/fundamentos para que essas dificuldades sejam superadas.

Contudo, apesar das dificuldades, foi possível perceber, nas aulas seguintes, que os objetivos relacionados a essa aula foram contemplados de forma satisfatória, pois os alunos conseguiram compreender a utilização das equações no experimento.

Sendo assim, as atividades experimentais possibilitam que os estudantes relacionem a teoria com a prática e aprendam o uso de equações com um maior significado.

Na sequência dessa aula, nosso intuito foi o de começar a orientar os alunos para que eles conseguissem planejar o roteiro experimental (Objetivo I). A partir de alguns questionamentos, percebemos que eles ainda estavam com dificuldades para compreenderem a função de cada equipamento que constitui o experimento. Porém, promovemos discussões e os alunos conseguiram compreender a função de cada equipamento (Objetivos O e Q).

Posteriormente, discutimos a relação entre a equação e o experimento (Objetivos Q, R e S). Também percebemos que os alunos conseguiram concluir essa relação. Eles perceberam quais grandezas físicas são variáveis ou constantes, de que forma a manipulação do experimento iria alterar essas grandezas e qual seria o efeito no feixe de elétrons produzido no bulbo do experimento.

Dessa forma, concluímos que os alunos estavam aptos a planejar um roteiro experimental para o caso estudado (Objetivo I).

4.14.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

Ressaltamos novamente que o planejamento do roteiro experimental representa um diferencial desse método de ensino em relação ao método tradicional. No método tradicional, quando existe alguma atividade experimental, os alunos recebem o roteiro pronto e eles fazem apenas a coleta de dados. Porém, na abordagem que executamos, os alunos têm a oportunidade de aprender melhor o conteúdo relacionado ao experimento, além de possibilitar, também, a aprendizagem de procedimentos experimentais e vivenciar, mesmo que em parte, um método científico.

Nosso intuito não é o de que os estudantes consigam desenvolver um roteiro

experimental na primeira vez em que eles participam de uma abordagem como essa. Essa habilidade deve ser explorada em outras situações, em outras atividades experimentais, para que eles consigam desenvolver a competência de elaborar os roteiros experimentais com mais rigor. A aprendizagem dos conceitos pode ocorrer de forma mais significativa, pois o envolvimento dos estudantes é maior nesse tipo de atividade.

4.15 RELATO DA OITAVA, NONA, DÉCIMA E DÉCIMA PRIMEIRA AULAS

Essas aulas foram divididas em duas etapas: a primeira, ocorreu no período da manhã, em dois horários geminados, e a segunda, foi no período da tarde, em mais dois horários geminados.

Chegamos com antecedência e preparamos a sala para começar a aula. Todos os computadores foram ligados e conectados no AVA. Os alunos chegaram e escolheram seus lugares.

Foram, então, orientados para navegarem na página “Monte o experimento” (Objetivo J). Durante alguns minutos eles ficaram explorando o ambiente para conhecê-lo. Posteriormente, nós e o Professor da Disciplina auxiliamos os alunos e fomos questionando-os sobre a montagem (Objetivos E, O e Q).

O AVA possui uma página contendo um esquema elétrico que pode auxiliar na montagem do aparato. Dessa forma, os alunos foram orientados a acessarem essa página para conseguirem realizar a montagem (Objetivo Q).

A maioria dos alunos ficou interessada e tentou montar o aparato por tentativa e erro. Outros alunos apenas ficaram observando. Nisso, o Estudante 1 perguntou se poderia auxiliar a Estudante 11, pois ele percebeu que a aluna não realizava a montagem.

Nós e o Professor da Disciplina continuamos a auxiliar e incentivar os alunos que ainda não tinham conseguido começar a montagem virtual. Começamos, então, a indagar os alunos para que eles fizessem novamente a montagem, mas não pelo processo de tentativa e erro, mas que tivessem consciência dos motivos pelos quais estavam realizando as ligações. Assim, eles foram incentivados a relacionarem as representações esquemáticas da página “Esquema Elétrico” do AVA com os equipamentos e fios da montagem virtual. Percebemos que os alunos possuíam muita dificuldade para fazer uma transposição da teoria para a prática de um

esquema de um circuito elétrico.

A Estudante 2 fez várias perguntas para conseguir entender o esquema elétrico apresentado.

Alguns alunos realizaram essa atividade individualmente, outros em dupla e teve um trio também, de acordo com suas preferências.

Para incentivar a participação de todos, chamamos alguns alunos à frente da sala para responder algumas perguntas relacionadas a essa atividade, com o objetivo de esclarecer para todos e reforçar o conhecimento sobre o assunto (Objetivos E e Q).

A Estudante 2 se voluntariou para ser a primeira. Perguntamos, então, o que representava o primeiro circuito mostrado. Ela respondeu que o primeiro símbolo representava o multímetro, o símbolo de baixo a fonte e o último o tubo. Clicamos em cada um dos símbolos para abrir a respectiva janela contendo a imagem e a explicação do equipamento correspondente, para mostrar a todos que a aluna havia acertado a resposta.

Então continuamos a questioná-la e perguntamos qual seria a função do multímetro no experimento. Ela respondeu que era para medir a voltagem. Ao ser questionada sobre a função da fonte, ela não soube responder, então, dirigimos a pergunta ao restante da sala. O Estudante 5 interferiu, dizendo que a função da fonte era gerar uma diferença de potencial. Perguntamos o que seria gerar uma diferença de potencial e ele respondeu que seria gerar corrente elétrica e sob a nossa mediação, chegou à conclusão de que a corrente elétrica transportava energia elétrica. Esclarecemos que a fonte iria gerar energia elétrica para fazer o equipamento funcionar, no caso, o tubo. E perguntamos que tipo de ligação tinha sido estabelecido entre esses componentes, em série ou em paralelo? A Estudante 2 respondeu, corretamente, que era em paralelo.

Mais um aluno se dispôs a ir à frente da sala, o Estudante 7. Perguntamos que parte do experimento era representada pelo segundo circuito e ele respondeu corretamente que o símbolo da direita representava a fonte, o da esquerda o multímetro e em baixo, as bobinas. Também questionamos se o multímetro estava ligado em série ou em paralelo e o aluno respondeu, de forma correta, que era em série. Realizamos discussões para fornecer mais esclarecimentos sobre as conexões envolvendo as fontes de tensão e os multímetros.

O Estudante 1 foi convidado para ir à frente e foi questionado sobre a função

e localização do multímetro e se seria possível conectá-lo em outras posições. O aluno respondeu corretamente a todas as perguntas.

A Estudante 2 ainda estava com dúvidas em relação ao funcionamento dos circuitos. Ela perguntou se a bobina que estava ligada ao fio positivo ficaria positiva e se a bobina ligada ao fio negativo ficaria negativa. A aluna estava fazendo confusão com o conteúdo ministrado anteriormente pelo Professor da Disciplina, que se referia aos processos de eletrização. Porém, esclarecemos essa questão.

Além disso, promovemos mais discussões sobre outras possibilidades de conexões entre os equipamentos e sobre o efeito que as novas conexões causariam no funcionamento do aparato experimental. Nos momentos necessários, direcionamos o raciocínio do estudante para a resposta correta.

Depois que essas questões foram discutidas, o Estudante 5 se voluntariou para realizar a montagem virtual do aparato à frente da sala (Objetivo J). Enquanto ele realizava a montagem, apresentamos questões para verificar se os alunos tinham compreendido tudo o que tinha sido discutido até então.

Como a montagem virtual do aparato experimental não permitia realizar todas as ligações possíveis, nós promovemos discussões sobre outras formas de ligações corretas.

A Estudante 12 foi selecionada para continuar a montagem à frente da sala. Ela soube realizar as montagens corretamente, enquanto o restante da turma respondia às questões satisfatoriamente.

Ao final da montagem, aparecia um vídeo mostrando o experimento em funcionamento. Explicamos o vídeo, enfatizando a influência do campo magnético no feixe de elétrons.

Para finalizar, promovemos mais discussões acerca da influência do campo magnético em cargas elétricas (Objetivos Q e S).

Assim, a aula da manhã acabou com a nossa informação aos alunos de que eles iriam planejar a realização da experiência (Objetivo I).

Os alunos retornaram para a escola às 14 horas e 11 alunos participaram dessa aula.

Iniciamos a aula dizendo que eles iriam fazer o papel do Thomson; dissemos que os alunos iriam manipular o aparato experimental real e questionamos como isso seria feito.

Quando os alunos acessaram o AVA, o primeiro a clicar na página “Realize

o experimento” foi o Estudante 1. Assim, só ele conseguia manipular o experimento, pois o sistema foi construído para permitir apenas ao primeiro usuário o direito de controlar o experimento. O restante dos alunos conseguiu apenas visualizar o que estava ocorrendo.

Assim, questionamos o que poderia ser manipulado no experimento (Objetivos E e I) e o Estudante 1 respondeu corretamente.

Posteriormente, percorremos a sala questionando os demais alunos sobre a função dos potenciômetros das fontes de tensão e sobre o procedimento para o cálculo da razão carga/massa do elétron (Objetivos E e I). O Estudante 1 respondeu que seria necessário ajustar o raio do feixe de elétrons para utilizar na fórmula da constante k estudada na aula anterior.

Questionamos, então, os outros alunos sobre o procedimento e anotamos, na lousa, quais seriam os passos, de acordo com as sugestões dos próprios alunos (Objetivos E e I). Tais passos foram os seguintes:

- Primeiro passo: medir o raio.
- Segundo passo: usar a fórmula $k = 2,875 \times 10^{-7} r^2$.
- Terceiro passo: substituir o valor de k na fórmula $e/m = U/(k i^2)$.

Continuamos questionando os alunos e como eles não estavam conseguindo concluir o roteiro, perguntamos como eles iriam fazer para aparecer o raio do feixe. Assim, o roteiro começou a ser refeito com o auxílio dos nossos questionamentos (Objetivos E e I):

- Primeiro passo: ligar a fonte de tensão do tubo para gerar o feixe.
- Segundo passo: controlar o botão azul.
- Terceiro passo: controlar o botão amarelo, aumentando a corrente elétrica das bobinas e criando o campo magnético para defletir o feixe.
- Quarto passo: medir o raio.
- Quinto passo: usar a fórmula $k = 2,875 \times 10^{-7} r^2$.
- Sexto passo: substituir o valor de k , U e i na fórmula $e/m = U/(k i^2)$.

Assim, solicitamos que os alunos realizassem a experiência de acordo com o planejado (Objetivos E e K). O Estudante 1 começou a manipular a experiência e os outros alunos ficaram visualizando na tela de seus computadores e, também, na tela de projeção.

O Estudante 1 aumentou a tensão, pelo botão verde, até o valor de 98 V. Assim, foi possível visualizar o feixe de elétrons. Depois ele aumentou a corrente, pelo botão amarelo, até o valor de 1,12 A, o raio foi encurvado, formando um círculo e atingiu o valor de raio igual a 3 cm.

Realizamos as mudanças de unidades de medidas necessárias e substituímos os dados nas equações, com a ajuda dos estudantes. O valor encontrado para k foi de $2,5875 \times 10^{-10} \text{ m}^2 \cdot \text{kg}^2 / \text{C}^4$ e a razão e/m determinada foi de $2,63 \times 10^{11} \text{ C/kg}$. O valor teórico aceito é de $1,76 \times 10^{11} \text{ C/kg}$. Assim, perguntamos a razão dessa diferença (Objetivos E e K). A Estudante 6 disse que era porque a experiência tinha sido feita apenas uma vez. Ela disse que a experiência deveria ser realizada várias vezes e depois deveria ser encontrado o valor médio. Aproveitamos a resposta da aluna e continuamos a explicar o motivo de serem realizadas mais de uma medida em um procedimento experimental. Posteriormente, calculamos o erro experimental (Objetivos E e K).

Concluimos dizendo que seria necessário montar um novo roteiro. Assim, o novo roteiro foi construído, com a ajuda dos estudantes, com os seguintes passos (Objetivos E e I):

- Primeiro passo: Fixar o valor do raio em 3 cm.
- Segundo passo: coletar 5 valores de tensão e corrente.
- Terceiro passo: incluir todos os valores coletados na planilha que havíamos preparado previamente.

Essa planilha utiliza os dados experimentais, faz uma regressão linear para construir o gráfico da tensão (U) pelo quadrado da corrente elétrica (I^2), determina o valor de e/m a partir da inclinação do gráfico e calcula o erro experimental.

- Quarto passo: realizar os mesmos procedimentos para outros raios.

Os alunos foram chamados à frente para realizarem o procedimento experimental no computador que estava ligado ao projetor multimídia. Cinco dos alunos fizeram a manipulação do experimento.

O erro calculado teve um valor muito alto, de 56%. Dessa forma, foram discutidos os motivos que poderiam ter causado um erro tão grande (Objetivos E e K).

Repetimos o procedimento para o raio de 2 cm para verificar se conseguiríamos encontrar medidas mais precisas, mas o erro encontrado foi ainda

maior.

Discutimos com os alunos algumas possíveis razões para termos encontrado erros experimentais tão grandes. Já havíamos realizado os procedimentos várias outras vezes antes dessa aula e tínhamos encontrado erros muito pequenos, da ordem de 2%. Chegamos à conclusão de que os multímetros que foram utilizados (diferentes daqueles utilizados anteriormente) deveriam ser os principais causadores do problema. Além disso, a visualização do feixe projetado na tela apresentava incertezas para a correta determinação do valor do raio da trajetória (Objetivo K). Essas discussões foram muito proveitosas pelo fato de possibilitar o surgimento de várias hipóteses para justificar o ocorrido, com a participação dos alunos. E revelaram as situações imprevistas que podem ser introduzidas pelas atividades experimentais e que podem ser utilizadas didaticamente pelo professor bem preparado. Deve-se ressaltar que, em momentos posteriores à essa aula, estudos feitos diretamente no aparato experimental, no Nutec, mostraram que o problema estava relacionado aos multímetros, que apresentavam indicações erradas nos valores das medidas de corrente e voltagem.

Após os cálculos, questionamos os alunos como Thomson conseguiu concluir que havia descoberto uma nova partícula, a partir do valor encontrado para a razão carga massa (Objetivos E e K). Essa informação pode ser encontrada na linha do tempo disponível no AVA.

Como os alunos não souberam responder, induzimos à resposta correta, perguntando que outras partículas eram conhecidas na época. Os alunos chegaram à conclusão de que era o átomo e o menor átomo conhecido era do hidrogênio. Então, promovemos discussões sobre como seria a razão carga/massa do átomo de hidrogênio para comparar com o valor encontrado para o elétron (Objetivos E, F, K, Q e S).

Lembramos, ainda, que na linha do tempo continha a informação sobre o valor da razão carga/massa encontrada por Thomson, que era 1700 vezes maior do que o valor da razão carga/massa do hidrogênio. Ou seja, a nova partícula (o elétron) só poderia ser menor do que o átomo de hidrogênio (Objetivos F, K, P, Q e S).

Perguntamos, também, como Thomson sabia que essa partícula possuía carga negativa e, como eles não souberam responder, promovemos nova discussão sobre as maneiras de se perceber o sinal de uma carga elétrica; questionamos se

poderíamos utilizar um campo elétrico ou magnético (Objetivos E, F, K, P, Q e S).

Depois, perguntamos por que essa descoberta, do elétron, foi importante. Dessa forma, houve discussões sobre algumas evoluções na Química e na tecnologia, que só foram possíveis depois da descoberta do elétron (Objetivos E, F e M).

Aproveitando a notícia da provável descoberta do bóson de Higgs à época, questionamos se os cientistas ainda tentavam descobrir novas partículas atualmente e qual tinha sido a descoberta mais recente (Objetivos E, F e M). Os alunos lembraram que viram na televisão algo a respeito da “Partícula de Deus”, o bóson de Higgs. Explicamos, então, que os cientistas acham que essa partícula é responsável pela existência da massa.

Para finalizar a aula, os alunos foram orientados a escreverem as memórias científicas e receberam uma folha com todas as orientações (Apêndice B) (Objetivo L).

4.16 CONSIDERAÇÕES SOBRE A OITAVA, NONA, DÉCIMA E DÉCIMA PRIMEIRA AULAS

4.16.1 Em Relação aos Domínios Afetivo, Psicomotor e Cognitivo

Inicialmente, os alunos começaram a realizar a montagem do aparato experimental (Objetivo J) por tentativa e erro. Entretanto, questionamos os estudantes sobre a montagem para que houvesse a contemplação dos objetivos O e Q, assim, eles estudaram o esquema elétrico com o intuito de realizarem a montagem conscientemente.

Como alguns alunos são mais tímidos e não interagem tanto, selecionamos alguns alunos para irem à frente da sala e responder algumas perguntas, com o intuito de verificar se ainda havia dúvidas sobre a montagem virtual ou sobre o conteúdo relacionado com o aparato experimental. Apesar disso, a maioria dos alunos participou ativamente da aula, levantando questionamentos e discutindo entre si. Assim, concluímos que os objetivos A, B, D e G foram alcançados satisfatoriamente, considerando os alunos que se envolveram e participaram da aula.

Por meio dessas interações, identificamos que os alunos conseguiram

compreender o conhecimento físico relacionado ao aparato experimental (Objetivo Q). Além disso, é importante salientar que uma dúvida mencionada pela Estudante 2 nos fez perceber que existe uma falha no ensino sobre conexões de medidores em circuitos elétricos. Ela nos questionou sobre o uso dos multímetros, pois sabia que o voltímetro deveria ser ligado em paralelo e o amperímetro deveria ser ligado em série em um circuito elétrico. Porém, ela não conseguia identificar uma ligação em paralelo do multímetro conectado à fonte de tensão e expressou verbalmente essa dúvida. De fato, não é possível perceber isso pela análise de um esquema elétrico. Esse episódio evidenciou um aspecto muito importante desse tipo de metodologia: a aluna conseguiu relacionar a teoria com a prática e extrapolou o conhecimento ensinado. Isso possivelmente não teria sido proporcionado em uma aula expositiva, pois foi a partir da montagem experimental virtual que ela inferiu a inconsistência das explicações teóricas acerca desse tema. E o estímulo da comunicação a encorajou a emitir sua dúvida, muito procedente. Nesse sentido, acreditamos que a explicação da conexão de um voltímetro à uma fonte de tensão deve ser melhor apresentada nos livros textos e na internet. Não encontramos material algum que aborde adequadamente tal situação.

No período da tarde, o principal objetivo desenvolvido foi o planejamento do aparato experimental (Objetivo I). Promovemos questionamentos direcionados para que os alunos conseguissem elaborar um roteiro experimental. Conforme esperado, os alunos conseguiram planejar um roteiro correto, porém, simples. Dessa forma, concluímos que os objetivos relacionados ao conhecimento necessário para o planejamento do aparato experimental foram satisfatoriamente alcançados.

Os alunos conseguiram realizar a manipulação do experimento e a coleta de dados (Objetivos G e K). Realizamos o cálculo da razão entre a carga e a massa do elétron na lousa, em conjunto com os alunos, e posteriormente em uma planilha (Objetivos E e K). A discussão sobre a análise dos dados e sobre as consequências e a importância da descoberta do elétron também foi realizada em conjunto com os alunos (Objetivos D, E, K, M).

O objetivo L, relacionado ao relato de experiências de aprendizagem, não foi atingido satisfatoriamente, pois, apenas alguns estudantes entregaram as memórias científicas (Apêndice C).

4.16.2 Em Relação à Execução da Sequência Didática

A montagem virtual do aparato experimental deveria ter sido realizada na aula anterior, porém a necessidade de uma maior abordagem teórica sobre conceitos relacionados ao eletromagnetismo ocasionou o atraso. Apesar de considerarmos que não houve prejuízos no processo de ensino-aprendizagem, os objetivos poderiam ser mais bem contemplados se conseguíssemos incluir mais uma aula no planejamento. Isso não foi possível devido ao calendário escolar de final de semestre.

A montagem do aparato experimental é outro diferencial em relação às aulas de laboratório tradicionais. Essa aula se mostrou muito importante, pois, verificamos as dificuldades que os alunos possuem, em geral, de relacionar a teoria com a prática. Apesar dos estudantes já terem estudado circuitos elétricos, eles tiveram muita dificuldade em relacionar os símbolos que representam os elementos de um circuito com os dispositivos reais do aparato experimental. Também tiveram muita dificuldade em perceber as ligações elétricas entre esses dispositivos.

Outro diferencial muito importante dessa metodologia é o planejamento do roteiro experimental. Os alunos conseguiram planejar um roteiro simples, com o nosso auxílio. Já era do nosso conhecimento que eles não fossem concluir essa etapa sem a nossa ajuda, pois eles nunca tinham participado de uma atividade como essa. Praticamente todo o conteúdo abordado nesse trabalho foi importante para a realização dessa etapa. Isso implica na relevância do conteúdo de Física abordado e justifica essa abordagem.

No momento da análise de dados, percebemos uma falha de manutenção do aparato experimental, que produziu um erro experimental elevado. Dessa forma, há a necessidade de se realizar manutenções constantes nos experimentos disponibilizados, ainda que essas falhas possam se constituir em recursos didáticos úteis para a discussão de conceitos físicos.

Além disso, nem todos os alunos se interessaram em escrever as memórias científicas solicitadas, o que significa que essa atividade deve ser persistida, com o intuito de promover esse tipo de comunicação. Essa etapa é muito importante para a sistematização do conteúdo pelo estudante e também constitui-se em um *feedback* para o professor. Então, em futuras aplicações dessa metodologia, será necessário encontrar uma maneira de estimular os estudantes a realizarem essa atividade.

4.17 CONSIDERAÇÕES DO PROFESSOR DA DISCIPLINA

Após a aplicação da metodologia, o Professor da Disciplina foi entrevistado e elaborou uma análise escrita em relação aos seguintes tópicos: i) diferenças entre suas aulas tradicionais e a metodologia utilizada; ii) dificuldades e desafios da incorporação da nova metodologia; iii) percepções acerca das atitudes dos alunos; iv) reflexos da integração da metodologia no seu planejamento de aula diante das limitações de tempo e necessidade de cumprimento do conteúdo; v) possibilidades ou não da nova metodologia permitir realizar o que não era possível em suas aulas tradicionais.

No Quadro 10 estão apresentadas algumas das análises do Professor da Disciplina e as nossas análises em relação aos tópicos citados.

Quadro 10 - Análises do Professor da Disciplina e nossas análises.

Tópico	Diferenças entre as aulas tradicionais e a metodologia utilizada.
Análise do Professor	“Olhando para a metodologia utilizada me vejo forçado a seguir outros caminhos que se adequem ao plano proposto pelo projeto.”
Análise Nossa	A maior dialogicidade com os estudantes torna imprevisível o conhecimento requerido do professor, gerando-lhe insegurança quanto à extensão do seu domínio do conteúdo. A utilização de observação fenomenológica cria condições para o debate sobre os modelos científicos idealizados, o que não é considerado na formatação tradicional do ensino de Física. A experimentação introduz a variabilidade e a incerteza no resultado, em contraposição à resolução de exercícios “fechados”, o que causa um incômodo ao estudante (por ser uma atividade mais aberta ao erro e às consequências da utilização inadequada) e ao professor (por não garantir a obtenção do que é previsto teoricamente). Mas, neste caso, o professor percebeu a diferença metodológica e adaptou-se bem à nova proposta, tornando-se mais inquiridor e ouvinte do que orador e muito mais preocupado com a parte conceitual do conteúdo trabalhado.
Tópico	Dificuldades e os desafios da incorporação da nova metodologia.
Análise do Professor	- “No início existiam alguns desafios, podendo destacar a junção entre o plano tradicional e o plano proposto pelo projeto sem que houvesse perdas consideráveis.” - “Do modo como as aulas de Física são distribuídas na rede pública de ensino fica complicado para o professor trabalhar

	o conteúdo curricular proposto, pois são apenas duas de cinquenta minutos semanais.”
Análise Nossa	<p>Todos os aspectos anteriormente apontados dificultam a adoção de metodologias inovadoras, pois exigem que o professor aceite a perda de controle total sobre o desenvolvimento da aula e as suas limitações de conhecimento. O fato de, eventualmente, não saber a resposta a uma questão posta pelos alunos parece ser o maior problema da concepção de ensino do professor que persiste em atuar de forma tradicional. Outro ponto relevante é a noção de perda de conteúdo a ser trabalhado ao se adotar uma estratégia diferente de ensino.</p> <p>Percebe-se que os alunos, em sua maioria, não participam de discussões promovidas em sala de aula, não respondem aos questionamentos dos professores e não expõem o seu pensamento com receio de errar. Para que a aplicação da metodologia tenha êxito, é necessário que os alunos busquem o conhecimento fora do horário escolar, porém, eles, em geral, não possuem esse costume e desenvolver esse tipo de atitude demanda tempo e dedicação; não é algo que seria possível desenvolver em algumas aulas.</p>
Tópico	Percepções acerca das atitudes dos alunos.
Análise do Professor	<ul style="list-style-type: none"> - “Havia uma parcela dos discentes que faltava às aulas e a expectativa da aceitação dos discentes frente à nova configuração da aula.” - “Percebi os alunos um pouco distantes das discussões nas aulas que precediam o projeto, talvez por eles não estarem dentro do padrão de aula de Física a que estavam acostumados.” - “Esses alunos começaram a buscar informações além das disponibilizadas nas aulas.”
Análise Nossa	Alguns alunos desenvolveram curiosidade acerca do assunto, participaram bastante das discussões e levaram, para a sala de aula, dúvidas relacionadas às suas pesquisas para serem discutidas. No decorrer do semestre a participação desses alunos aumentou de forma significativa e satisfatória para a nova proposta metodológica, porém, a maioria permaneceu sem participar das discussões e sem realizar as atividades extra sala de aula. Uma avaliação da contribuição de metodologias desse tipo para a mudança de atitude dos alunos só pode ser realizada em um intervalo de tempo grande. Porém, ocorreram indícios de que, se este tipo de metodologia fosse implementado e mantido desde os primeiros anos escolares, possivelmente viabilizaria o desenvolvimento de atitudes mais proativas dos estudantes frente à construção do seu conhecimento.
Tópico	Reflexos da integração da metodologia no planejamento de aula diante das limitações de tempo e necessidade de cumprimento do conteúdo.
Análise do	- “A união do plano tradicional à metodologia proposta teve

Professor	<p>que ser bem pensada para que não houvesse perdas significativas. Nesse contexto, foram introduzidas 11 aulas ao plano tradicional, o que fez o tempo para a realização de atividades complementares ficar escasso.”</p> <p>- “Perdemos um pouco na discussão de atividades matematizadas, mas, ganhamos muito na construção dos conceitos fundamentais relacionados ao eletromagnetismo.”</p>
Análise Nossa	<p>De acordo com as exigências do estado (CBC e PCN), não houve prejuízo em relação ao conteúdo desenvolvido. Foram trabalhados os conceitos de carga elétrica, corrente elétrica, força elétrica, campo elétrico, ação de um campo elétrico sobre cargas elétricas, potencial elétrico, circuito elétrico, instrumentos de medida e medidas elétricas, campo magnético, força magnética, campo magnético criado por correntes elétricas (fio retilíneo, bobina e bobinas de Helmholtz) e ação de um campo magnético sobre cargas elétricas. Além disso, como o tempo destinado às aulas de Física é muito curto, não há como ensinar todo o conteúdo exigido em sala de aula; portanto, há a necessidade de priorizar conceitos, redimensionar a profundidade e abrangência das abordagens temáticas e é necessário criar estratégias para que o aluno seja mais ativo na construção de seu próprio conhecimento e não dependa exclusivamente do professor.</p>
Tópico	<p>Possibilidades ou não da nova metodologia permitir realizar o que não era possível em aulas tradicionais.</p>
Análise do Professor	<p>“A inserção dessa metodologia trouxe a oportunidade tanto para mim, professor, quanto para os alunos de frequentar o laboratório de informática com a proposta de consolidar e justificar as nossas aulas em sala.”</p>
Análise Nossa	<p>Acreditamos que a justificativa para o uso das tecnologias da informação e comunicação deve estar na dificuldade ou impossibilidade de trabalhar conhecimentos conceituais, atitudinais ou procedimentais sem o emprego das mesmas. O uso da experimentação remota permite acesso a experimentos que seriam inviáveis no ensino de Física. Além disso, a metodologia proposta possibilitou ao aluno realizar a conexão da teoria com a prática e o exercício do planejamento da realização do experimento. Normalmente, não é possível realizar atividades experimentais nas escolas por falta de material e, quando isso ocorre, elas são basicamente demonstrativas e não permite coleta de dados, não favorecendo, assim, a aprendizagem de procedimentos e atitudes.</p>

Fonte: A autora

A sensação de “perda” de conteúdo ao adotar uma metodologia de ensino diferenciada se concretiza como um dos maiores desafios para a adoção da metodologia por outros professores de Física. Isso é compreensível dentro do

contexto atual de ensino, pois o Estado disponibiliza apenas duas aulas semanais de cinquenta minutos para a disciplina de Física, com uma carga excessiva de conteúdo. Porém, pela descrição que apresentamos, nossa proposta procura romper com essa formatação de ensino. Por exemplo, um dos objetivos do ensino investigativo é o de que o aluno deve desenvolver a atitude de buscar conhecimento; dessa forma, a aprendizagem não fica centrada no professor e o aluno tem a possibilidade de continuar aprendendo fora do contexto escolar e, nesse caso, o professor tem o papel de orientar a busca do conhecimento. Assim, o professor não “perde” tempo com uma metodologia embasada no ensino investigativo; ele modifica tanto a forma de utilizar o tempo para aprender, quanto o próprio ato de aprender.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Das análises apresentadas em nosso texto, podemos concluir que uma sequência de ensino-aprendizagem de natureza investigativa e com uso de experimentos remotos possui características muito diferenciadas em relação às sequências do ensino transmissivo tradicional.

A primeira diferença é o fato de constituir um processo dinâmico de múltiplas descobertas, tanto para o professor quanto para o aluno, em função da imprevisibilidade que a atividade experimental e o uso das tecnologias trazem durante o seu uso.

Dessa forma, a sequência didática não pode ser percorrida de forma rígida, pois é redefinida na prática, em função do comportamento dos alunos e do próprio material educativo em sala de aula, durante a atividade experimental investigativa.

Isso significa que o processo investigativo, ainda que dirigido pelo professor, pode introduzir questionamentos e problemas não planejados pelo professor e ampliar as possibilidades de aprendizagem de ambos os atores em sala de aula. Com relação aos alunos, pode fazer com que objetivos de aprendizagem não previstos também possam ser atingidos.

Fatos dessa natureza ocorreram em nossa aplicação, como por exemplo, na ocasião em que uma aluna observou, a partir da utilização da montagem virtual do experimento remoto, que o voltímetro que deveria ser conectado a uma das fontes de tensão não parecia estar em paralelo com a mesma e, portanto, a usual explicação de que um voltímetro deve ser conectado em paralelo com o trecho do circuito elétrico no qual se deseja medir a voltagem, não é compatível com a representação simbólica de uma fonte real conectada a um voltímetro.

Outro exemplo relevante decorreu de uma pergunta formulada por uma aluna acerca da precedência entre o conhecimento sobre eletricidade e a descoberta do elétron, pois ela havia percebido que os equipamentos necessários para o experimento realizado por Thomson necessitava da eletricidade para funcionar. Tal questionamento provocou uma discussão acerca da imbricação entre o desenvolvimento científico e o tecnológico.

Do ponto de vista do professor, a inserção de imprevistos durante uma aula de natureza semelhante à que propusemos deve fazer com que ele procure se cercar de novos conhecimentos de conteúdos específicos e pedagógicos que

possam ampará-lo no processo de ensino-aprendizagem. Uma maneira de fazer isso é começar a trabalhar o planejamento de suas aulas de forma colaborativa com outros colegas de trabalho ou mesmo com pesquisadores das universidades.

As características apontadas acima fazem com que o processo de ensino-aprendizagem se torne, efetivamente, uma atividade de ensino com pesquisa, que é um dos objetivos contemporâneos da formação de professores para a Educação Básica. Dessa forma, o professor começa a constituir uma identidade profissional, identidade essa que se encontra socialmente muito frágil até o momento.

Outro aspecto diferenciador da nossa proposta metodológica em relação às propostas tradicionais consiste no uso recorrente da dialogicidade em sala de aula, isto é, conceder ao aluno a liberdade de expressão no intuito de promover a reflexão subjetiva e coletiva sobre o objeto de estudo. Esse procedimento, além de estimular estruturas mais complexas de pensamento, permite ao professor e ao próprio aluno a rápida inferência sobre ganhos e falhas de aprendizagem, possibilitando ao professor a busca por estratégias de superação dessas dificuldades nos momentos em que elas se manifestam, diferentemente do processo de ensino tradicional, quando o professor só detecta problemas, em geral, após a realização de uma prova.

Em nossa aplicação, isso ocorreu, ao percebermos que os estudantes possuíam lacunas de conhecimento sobre alguns conceitos de eletromagnetismo. Redefinimos, então, nossa sequência didática, incorporando tais conteúdos e protelamos a atividade de realizar a montagem virtual do aparato experimental.

O uso desse recurso dialógico coloca o aluno, de fato, no centro do processo de ensino e o conteúdo programático deixa de ser o definidor do andamento da aula, mesmo que ainda provoque, no professor, alguma sensação de perda de conteúdo.

Ainda um terceiro diferencial que pode ser citado e, talvez, o mais importante, é que essa nova forma de ensinar promove o empoderamento tecnocientífico do aluno, ao proporcionar que o mesmo assuma o comando das ações e seja autônomo nas decisões que envolvem a prática experimental e se veja estimulado a comunicar e discutir suas descobertas.

Ainda que a iniciativa e autonomia do estudante na busca do conhecimento não tenham se manifestado de forma considerável durante a aplicação da proposta metodológica, deve-se considerar que a consolidação desse processo é gradual (por exigir uma mudança atitudinal) e deve ser incentivada constantemente. Essa busca

constante do conhecimento é uma das características do ensino por investigação e contribui para o desenvolvimento da atitude do aluno em buscar intencionalmente as respostas às questões que se lhe apresentem.

Em relação às alterações necessárias para a próxima aplicação dessa metodologia, em função das análises apresentadas, enumeramos:

- melhorar o ambiente virtual de aprendizagem no tocante ao sistema de comunicação síncrona e assíncrona, aumentando as possibilidades de interação virtual a distância entre os alunos e destes com o professor da disciplina;

- propor mais tarefas de autoria dos alunos, para além da Memória Científica que utilizamos, para serem realizadas em diversas etapas intermediárias da formação do estudante, com o objetivo de reforçar o empoderamento científico dos mesmos;

- aumentar em, pelo menos uma aula regular, a aplicação da metodologia, para permitir o desenvolvimento do conteúdo com mais consistência;

- procurar estimular a execução de atividades extraclasse pelos alunos, pela incorporação da técnica “Ensino sob Medida” (*Just in Time Teaching*) (ARAÚJO; MAZUR, 2013), na qual atividades relevantes são propostas para serem executadas em ambientes externos à sala de aula e previamente às aulas em que os conteúdos serão trabalhados. Segundo essa técnica, a sala de aula seria transformada em um espaço de debates e discussões das dúvidas e das questões relevantes acerca do conteúdo, ampliando os momentos dialógicos da metodologia;

- propor o desenvolvimento da coleta de dados individual como atividade extraclasse, de tal forma a: i) estimular o uso remoto do experimento para garantir uma maior familiarização com o mesmo e, conseqüentemente, ampliar o espaço de aprendizagem, otimizando o uso do tempo em sala de aula com questões mais relevantes e ii) utilizar os dados obtidos pelos alunos com o intuito de discutir os diferentes resultados inerentes ao procedimento experimental e trabalhar o processo de minimização de erros experimentais;

- para tentar aumentar a participação dos alunos nas conclusões das discussões promovidas, ainda que de uma maneira não ideal, também poderíamos utilizar a estratégia do uso do sistema de respostas não identificadas, por meio de equipamentos de comunicação tipo *clickers* (ARAÚJO; MAZUR, 2013), ou celulares, como forma de envolver os alunos mais tímidos nas expressões de seus pensamentos.

Acreditamos que essas implementações podem agregar mais qualidade aos objetivos explicitados em nossa proposta de sequência de ensino-aprendizagem.

Embora tenhamos apontado diversos fatores favoráveis à adoção de uma metodologia de ensino investigativa e com uso da experimentação remota, devemos apontar algumas limitações da mesma, especialmente relacionadas ao uso de um experimento remoto e independente de melhorias metodológicas.

O primeiro fator negativo é que a experimentação remota não promove uma atitude compromissada do aluno em relação à sua segurança física, ou com a preservação do aparato experimental, por ser uma manipulação previamente programada para evitar riscos físicos à pessoa que a utiliza e ao equipamento laboratorial, conforme já mencionado no Quadro 1 desta dissertação.

Outro ponto negativo e já apontado naquele mesmo Quadro, refere-se à idealização do procedimento experimental remoto em relação à experimentação *hands-on*, pelo fato de que algumas ações no aparato experimental não são permitidas ao usuário e, assim, a liberdade de testar diversas hipóteses é limitada.

A dependência do experimento remoto em relação às tecnologias de informação e comunicação também se constitui em outro fator limitante, uma vez que é necessária a existência de conexão à internet para o acesso ao experimento. O período de latência da rede internet também pode comprometer a realização de um experimento a distância, especialmente aquele no qual a grandeza tempo seja relevante para os dados experimentais. Além disso, a intermediação tecnológica cria um novo item de manutenção no laboratório remoto: a manutenção do sistema de conexão do experimento em rede em adição à manutenção do aparato laboratorial.

Entretanto, de todos os fatores limitantes, o mais importante consiste na formação do professor para o desenvolvimento de práticas experimentais, conforme proposto aqui. Percebemos, em nossa proposta de pesquisa, que o envolvimento do professor da disciplina nas etapas precedentes ao planejamento das aulas é fundamental para a determinação ou não do sucesso dessa metodologia de ensino. O professor que nos auxiliou na aplicação dessa proposta participou de todas as etapas relevantes do projeto e contribuiu satisfatoriamente para que a aplicação ocorresse sem grandes divergências do que havia sido planejado, mas essa não é a postura comum nesses casos. Portanto, a aceitação dessa proposta e o resultado de sua aplicação ficam condicionados totalmente à atuação do professor da disciplina. Quanto a esse aspecto, a solução que vemos é o trabalho colaborativo

entre a equipe de pesquisadores e o professor da disciplina.

Dessa forma, esperamos continuar o processo de validação dessa metodologia de ensino, procurando contribuir para um método diferenciado de ensinar Física na Educação Básica.

Além disso, de maneira geral, o ensino por meio da experimentação remota carece evoluir para além do seu estágio atual, tanto no aspecto metodológico, quanto tecnológico. No aspecto metodológico, deve-se ressignificar o ensino experimental, com intuito de dar mais sentido à atividade experimental, indo além do cumprimento mecânico de um roteiro experimental pré-definido pelo professor, explorando uma abordagem que envolva os conhecimentos físicos associados à concepção do aparato experimental e o planejamento do procedimento experimental, estabelecendo relações mais próximas com o conhecimento produzido pelos cientistas. No aspecto tecnológico, deve-se explorar a convergência tecnológica, como por exemplo, o ambiente de experimentação remota deve conter recursos de comunicação (webconferência, fórum, *chat*), de desenvolvimento cooperativo (*wikis*, mapas conceituais, hipertextos), de registros e manipulação de dados (caderno virtual, calculadora, *software* de construção de gráficos).

REFERÊNCIAS

ÁLVAREZ, J. C. et al. An Arduino controlled chaotic pendulum for a remote physics laboratory. In: INTED 2013 CONFERENCE. 2013, Valência. **Anais...** Valência: IATED, 2013. p. 6062-6067.

ALVES, G. R. et al. Design state exploration applied to the development of a remote lab for projectile launch experiments. **International Journal of Online Engineering**. Viena; v. 9, n. 3, p. 55-60, jun. 2013.

ARAÚJO, I. S.; MAZUR, E. Instrução pelos Colegas e Ensino sob Medida: uma proposta para engajamento dos alunos no processo de ensino-aprendizagem de Física. **Caderno Brasileiro de Ensino de Física**. Florianópolis; v. 30, n. 2, , ago. 2013, p. 362-384.

AZEVEDO, M. C. P. S.. Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. In: CARVALHO, A. M, P.. **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. 1 ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004. p. 19-33.

BARROW, L. H.. A Brief History of Inquiry: From Dewey to Standards. **Journal of Science Teacher Education**. Rotterdam; v. 17, n. 3, p. 265-278, set. 2006.

CARDOSO, D. C.; TAKAHASHI, E. K.. Experimentação Remota Em Atividades De Ensino Formal: Um Estudo A Partir De Periódicos Qualis A. **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte; v. 8, n. 2, p. 185-208, jun. 2011.

CAVALCANTE, M. A.; TAVOLARO, C. R. C.; MOLISANI, E.. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. São Paulo; v. 33, n. 4, p. 4503-4503, dez. 2011.

CONCARI, S. B.; MARCHISIO, S. T.. The Remote Laboratory as a Teaching Resource in the Scientific and Technological Training. **Creative Education**. New Mexico; v. 4, n. 10, p. 33-39, out. 2013.

CONKLIN, J.. A taxonomy for learning, teaching and assessing: a revision of Blooms's taxonomy of educational objectives. **Educational Horizons**. Arlington; v. 83, n. 3, p. 154-159, fev. 2005.

CONNORS, M.; et. al. Distance Education Introductory Physics Labs: Online or In-Home?.. In: ZÚBIA, J. C., G. R. Alves_. **Using Remote Labs in Education: Two Little Ducks in Remote Experimentation**. 1 ed. Bilbao: University of Deusto, 2011. p. 309-322.

CORRÊA, R. W.. **Implementação de uma sequência de ensino e aprendizagem sobre tópicos de astrofísica de partículas para o ensino médio**. 2015. 162 f. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Mestrado em Ensino de Ciências (Modalidade - Física)-Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

DORNELES, A. M.; GALIAZZI, M. C.. Que roda é que se conta? A escrita narrativa

na formação permanente. . **Revista Brasileira de Pós-graduação**. Brasília; v. 8, n. 2, p. 563-585, out. 2012.

DROBROGOWSKI, W.; MAZIEWSKI, A.; ZABLOTSKII, V.. Remote teaching experiments on magnetic doomains in thin films. **European Journal of Physics**. Brandenburg; n. 28, p. 71-83, nov. 2007.

FERRAZ, A. P. C. M.. **Instrumento para facilitar o processo de planejamento e desenvolvimento de materiais instrucionais para a modalidade a distância**. 2008. 234 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção-Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

FERRAZ, A. P. C. M.; BELHOT, R.V.. Taxonomia de Bloom: revisão teórica e apresentação das adequações do instrumento para definição de objetivos instrucionais. **Gestão & Produção**. São Carlos; v. 17, n. 2, p. 421-431, jan. 2010.

MÉHEUT, M.. Teaching-learning sequences tools for learning and/or research.. In: BORESMA, K.. **Research and Quality of Science Education**. 1 ed. Amsterdam: Spring, 2005. p. 195-207.

MUNFORD, D.; LIMA, M. E. C. C.. Ensinar ciências por investigação: em que estamos de acordo?. **Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte; v. 9, n. 1, p. 72-89, jun. 2007.

NARDI, R.; GATTI, S. R. T.. Uma Revisão Sobre as Investigações Construtivistas nas Últimas Décadas: concepções espontâneas, mudança conceitual e ensino de ciências. . **Ensaio: Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte; v. 6, n. 2, p. 145-175, dez. 2004.

NONATO, E. B. M.; TONI, M. S. de. OBJETIVOS EDUCACIONAIS DE BLOOM, RESULTADOS DE APRENDIZAGEM E INSTRUMENTOS DE AVALIAÇÃO FORMATIVA NO ENSINO SUPERIOR: UMA REFLEXÃO INTEGRATIVA. **Revista Lugares de Educação**. Bananeiras; v. 5, n. 11, ago. 2015. Disponível em: <<http://periodicos.ufpb.br/ojs2/index.php/rle>>. Acesso em: 18 dez. 2015.

OMID, M.; SAJJADIYE, S. M.; ALIMARDANI, R.. Remote monitoring and control of horticultural cool storage over the Internet. **Computer Applications in Engineering Education**. Malden; v. 19, n. 1, mar. 2011. Disponível em: <<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cae.20299/abstract>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

PELISSONI, A. M. S.. Objetivos educacionais e avaliação da aprendizagem. **Anuário da Produção Acadêmica Docente**. Campinas; v. 3, n. 5, p. 129-139, abr. 2009.

PÉREZ, D. G.; CASTRO, P. V.. La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. **Enseñanza de Las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas**. Barcelona; v. 14, n. 2, p. 155-164, jan. 1996.

SÁ, E. F.; LIMA, M. E. C. C.; AGUIAR, O.. A Construção De Sentidos Para O Termo Ensino Por Investigação No Contexto De Um Curso De Formação. **Investigações em Ensino de Ciências**. Porto Alegre; v. 16, n. 1, p. 79-102, set. 2011.

SILVA, J. B.. **A Utilização Da Experimentação Remota Como Suporte Para Ambientes Colaborativos De Aprendizagem**. 2006. 196 f. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Gestão do Conhecimento da Universidade-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

SCHUMACHER et al.. Física Experimental Auxiliada Por Laboratório Virtual. **Encontro de Pesquisa em Ensino de Física**. Jaboticatubas; n. 1, jul. 2004. Disponível em: <<http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/snef/xvi/sys/resumos/T0192-1.pdf>>. Acesso em: 23 dez. 2015.

TAVARES, R. et al.. Objetos de Aprendizagem: uma proposta de avaliação da aprendizagem significativa. In: DISTÂNCIA, BRASIL. Ministério da Cultura. Secretaria de Educação a. **Objetos de aprendizagem: uma proposta de recurso pedagógico**. 1 ed. Brasília: MEC, SEED, 2007. p. 123-145.

VIEIRA, A. S. **Uma alternativa didática às aulas tradicionais: o engajamento interativo obtido por meio do uso do método peer instruction (instrução pelos colegas)**. 2014. 235 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Ensino de Física, Instituto de Física, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

WALLIN, A.; E.WEST,. Design and validation of teaching-learning sequences: Content-oriented theories about transmission of sound and biological evolution.. In: PLOMP, T._NIEVEEN, N._. **Educational design research – Part B: Illustrative cases**. 1 ed. Enschede: SLO, 2013. p. 179-198.

YIN, R.. **Estudo de Caso: planejamento e métodos**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

ZABALA, A.. **A Prática Educativa: Como Ensinar**. Porto Alegre: Artmed, 1998.

APÊNDICES

APÊNDICE A - O Produto Educacional: A Proposta Metodológica

O produto educacional que apresentamos a seguir é composto por recursos didáticos, elaborados por nós, que subsidiam a sequência de ensino-aprendizagem que propomos.

Na primeira parte deste documento, expusemos os recursos didáticos que são construídos pelos episódios históricos relevantes e relacionados à descoberta do elétron; uma descrição sobre o experimento aparato; os procedimentos científicos para a determinação da razão carga/massa do elétron e sobre a construção do experimento remoto; e uma descrição do ambiente virtual de aprendizagem e sua funcionalidade.

Na segunda parte, descrevemos as características da sequência de ensino-aprendizagem com o uso do experimento remoto.

Esse documento apresenta informações importantes para uma aplicação da proposta metodológica.

1 RECURSOS DIDÁTICOS QUE SUBSIDIAM A PROPOSTA METODOLÓGICA

1.1 Episódios Históricos Da Descoberta Do Elétron

A Revolução Industrial, que representou uma grande mudança social, econômica e tecnológica, com a passagem do uso da energia humana para a da energia motriz, ou a mudança do sistema comercial para o industrial, teve início na Inglaterra no século XVII, devido a diversos fatores, por exemplo¹:

- a riqueza acumulada pela Inglaterra com a sua expansão marítima, através do lucro com o tráfico de escravos, com a pirataria e com a exploração de colônias;
- o avanço do sistema capitalista no campo, que resultou na expulsão dos camponeses de suas terras para utilizá-las para a criação e pastagem de animais (especialmente ovelhas ou cavalos);

¹ NICOLACI-DA-COSTA, A. Revoluções Tecnológicas e Transformações Subjetivas. Psicologia: Teoria e Pesquisa, Brasília, v. 18, n. 2, p.193-202, ago. 2002.

- o desenvolvimento da primeira máquina a vapor, que deu origem às fábricas com equipamentos movidos a vapor;
- as reservas de carvão e ferro disponíveis, que eram fundamentais para o funcionamento das fábricas;
- o desenvolvimento dos meios de transporte (principalmente as ferrovias) e da metalurgia, que era indispensável para a fabricação de máquinas, trilhos de ferro etc.;
- o desenvolvimento da indústria têxtil, com a grande oferta de matéria-prima (algodão) e a abundância de mão de obra, que tornavam os custos de produção baratos, gerando lucros elevados que eram reaplicados no aperfeiçoamento tecnológico e produtivo.

No campo científico, a Revolução Industrial permitiu a concepção e construção de instrumentos e equipamentos mais sofisticados, que ampliaram o poder de observação dos fenômenos da Natureza e revelaram aspectos físicos até então desconhecidos. A mecânica newtoniana já estava estabelecida nessa época, assim como a óptica geométrica. Iniciavam-se, então, os estudos sobre termometria, calor, energia, gases e eletricidade, concomitantemente com o desenvolvimento de instrumentos e equipamentos científicos.

Nesse capítulo serão mostrados diversos fatores que contribuíram para a verificação da existência do elétron por Joseph John Thomson, que obteve a razão entre a carga e a massa do “corpúsculo”, como ele denominou originalmente a nova partícula², e a subsequente determinação do valor da sua carga elétrica por Robert Andrews Millikan. Essas descobertas vieram alterar o ceticismo da comunidade científica acerca da existência dos átomos e foi um passo decisivo para a adoção da teoria atômica pela comunidade³.

A descoberta do elétron foi uma consequência dos estudos pioneiros sobre a fase gasosa da matéria, a partir das descargas elétricas em tubos de vidro contendo gás a baixa pressão⁴. Esses estudos foram realizados desde 1709⁵.

Nessas descargas, o interior do tubo fica iluminado e a cor da luz depende do gás; sabe-se, hoje, que as luzes são emitidas na ionização das

² THOMSON, J.J. **Nobel Lecture**, 1906.

³ SERRA, I. M. F. M. Joseph John Thomson, As descargas em gases e a descoberta do electrão, **Atualidades Biológicas**, 2ª Série, Vol. LI, História e Filosofia das Ciências, Instituto Rocha Cabral, pp. 1-14, 2008.

⁴ THOMSON, J. J. **The Discharge of Electricity Through Gases**, Westminster: Archibald Constable & CO, 1898.

⁵ SILVA, L. C. M.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. A carga específica do elétron: um enfoque histórico e experimental. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 1601, 2011.

moléculas do gás, quando colidem com elétrons provenientes do catodo. Se o vácuo for muito bom, ocorrem menos colisões, o que resulta em um feixe bem colimado dos elétrons do catodo. Na época de Thomson, a natureza da eletricidade não era conhecida e descargas em tubos de vidro eram um instrumento de investigação da natureza da eletricidade⁵.

Alguns dos mais conceituados cientistas dos séculos XIX e XX interessaram-se pelas descargas elétricas no interior de tubos com gases rarefeitos, que eram denominadas de “raios catódicos”. Esses cientistas desenvolveram e melhoraram os dispositivos para realizarem experiências com os raios catódicos e estudarem a natureza desses raios. Os resultados obtidos são tão fundamentais que se pode dizer que a microfísica nasceu com esses estudos³.

Contudo,

As opiniões sobre a origem dos raios catódicos dividiam-se por nacionalidades. Em 1892 Hertz afirmava ainda, e todos os físicos alemães concordavam que os raios catódicos não podiam ser partículas e tinham então que ser ondas. Em Inglaterra, Crookes insistia que os ditos raios eram partículas carregadas, e os físicos ingleses, entre os quais Thomson, reiteravam a sua afirmação⁶.

Entretanto, não foram apenas os estudos com as descargas elétricas que foram importantes para a descoberta do elétron, como por exemplo, os estudos sobre eletrização, desde a Grécia Antiga, os trabalhos de Ruhmkorff e Helmholtz, relacionados à produção de campos magnéticos - por meio de bobinas construídas com fios condutores - e os trabalhos de Maxwell sobre o eletromagnetismo. Porém, é difícil precisar quando uma ideia científica teve origem, pois a construção da Ciência é um processo social, que envolve uma coletividade de cientistas e suas diferentes concepções de mundo.

Então, apenas por uma questão didática e por necessidade de delimitar a abordagem, o trabalho de Gleisser será adotado como ponto de partida e os experimentos de Millikan como a etapa final da história do descobrimento do elétron. Mas, mesmo antes de Gleisser e ainda depois de Millikan, conhecimentos que culminaram na descoberta dessa partícula fundamental estavam sendo construídos.

⁶ SERRA, I. M. F. M. Joseph John Thomson, as descargas em gases e a descoberta do electrão, **Atualidades Biológicas**, 2ª Série, Vol. LI, História e Filosofia das Ciências, Instituto Rocha Cabral, pp. 1-14, 2008.

1.1.1 A Bomba de Vácuo de Geissler

Um dos principais fatores, que levaram à descoberta do elétron, foi o estudo das descargas elétricas em tubos com gases rarefeitos, que se iniciou por volta de 1850. Mas, na época, a criação de tubos evacuados, que eram necessários para se observar o fenômeno, não era um processo simples e isso impossibilitava os avanços nessas investigações. Algumas das principais dificuldades eram: soldar vidro com metal, devido à diferença entre o coeficiente de dilatação; produzir um vácuo mínimo e obter uma grande diferença de potencial entre os eletrodos que criavam as descargas elétricas⁷.

Ao diminuir a pressão do gás dentro dos tubos, a diferença de potencial necessária para produzir uma descarga elétrica entre os eletrodos é menor, pois os elétrons dissipam menos energia em colisões com as partículas do gás⁷.

Foi o vidreiro e físico alemão Johann Heinrich Wilhelm Geissler (1814-1879) quem conseguiu reduzir esses problemas. Ele era filho de um soprador de vidros e devido às dificuldades financeiras familiares, ele e seus sete irmãos tiveram que trabalhar desde a infância na oficina de vidros da família, onde aprenderam as técnicas de produção de vidros finos⁸. Em 1852, Geissler decidiu abrir um negócio próprio para a fabricação de instrumentos de Química e Física, ocasião em que conheceu o físico e matemático alemão Julius Plücker (1801-1868), para quem fabricou termômetros e tubos capilares⁸. Em 1855, Geissler

[...] inventou uma bomba de vácuo de mercúrio (por ser um metal líquido, o mercúrio facilitava a vedação, permitindo isolar a região do tubo que se desejava evacuar); desenvolveu de forma eficiente uma técnica (dopagem do vidro com metais) para soldar o vidro ao metal, escolhendo para isso metal e vidro com coeficientes de dilatação mais próximos possíveis; e, finalmente, para produzir intensas correntes elétricas, utilizou a recém inventada bobina de indução de Ruhmkorff⁷.

Esses tubos foram denominados por Plücker de tubos de Geissler (Figura 1)⁸.

⁷ CHESMAN, C; ANDRÉ, C; MACÊDO, A. **Física moderna**: experimental e aplicada. 1.ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

⁸ BASSALO, José Maria Filardo. **A Descarga Elétrica nos Gases e os Raios Catódicos**. 20--?.

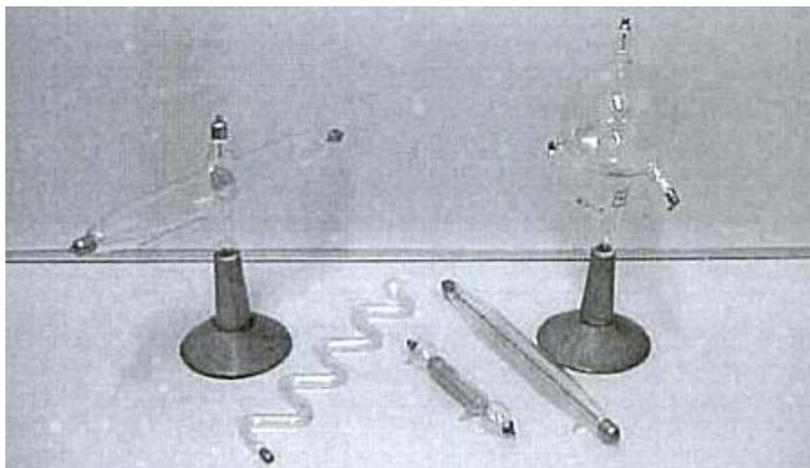


Figura 1: Tubos de Geissler de diferentes formatos

Os dispositivos produzidos por Geissler contribuíram para os estudos de Plücker sobre a deflexão das descargas elétricas por campos magnéticos e para o aperfeiçoamento de tubos de vidro a vácuo, que vieram a ser utilizados posteriormente em diversos dispositivos elétricos, como lâmpadas a filamento, tubos de televisão, monitores de computadores etc⁹.

1.1.2 A Observação da Fosforescência nos Tubos de Geissler por Plücker

O físico e matemático alemão Julius Plücker (1801-1868) iniciou suas pesquisas científicas em Matemática, onde fez contribuições fundamentais à geometria analítica e à geometria projetiva¹⁰.

Em 1847, Plücker decidiu afastar-se de sua área e dedicar-se às pesquisas em Física. Plücker utilizou vários tubos de gás rarefeitos construídos por Geissler para investigar a deflexão das descargas elétricas por campos magnéticos (ímãs)¹⁰. Observou um fenômeno que já tinha sido observado por Michael Faraday: ao produzir uma descarga elétrica através do tubo, aparecia uma fosforescência de cor verde amarelada nas paredes de vidro do tubo, próximas ao catodo, que podia ser desviada pela ação de um campo magnético. Inferiu que esse efeito era produzido por algum tipo de corrente elétrica, mas não ofereceu maiores explicações do fenômeno¹¹. Posteriormente, outros cientistas estudaram esse fenômeno, o que culminou na sua identificação como sendo um feixe de elétrons.

⁹ BASSALO, José Maria Filardo. A Descarga Elétrica nos Gases e os Raios Catódicos. 20--?.

¹⁰ MOREIRA, I. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron: Tradução e notas Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no. 3, setembro, 1997.

¹¹ SILVA, L. C. M. et al. Determinação da razão carga/massa do elétron com enfoque histórico-experimental para o ensino médio. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória.

Uma curiosidade histórica: Plücker, após conhecer o trabalho de Geissler e encomendar-lhe vários tubos de vidro para usar em suas pesquisas, conseguiu que a Universidade de Bonn, na Alemanha, conferisse a Geissler o título de doutor honoris causa (título universitário conferido a cidadãos que contribuem de forma significativa para o conhecimento humano)¹².

1.1.3 A Natureza das Descargas Elétricas segundo Hittorf

Johann Wilhelm Hittorf (1824 – 1914) foi um físico alemão nascido em Bonn, na antiga Prússia, atualmente Alemanha. Estudou Ciências Naturais e Matemática e foi aluno de Julius Plücker, dando sequência às investigações sobre as descargas elétricas¹³. Os primeiros estudos de Hittorf foram baseados nos espectros luminosos de gases e vapores e também descobriu as diferentes estruturas do fósforo e do selênio.

Seu principal estudo, resultado de sua pesquisa (1853-1859) sobre o movimento de íons causados por corrente elétrica, resultou na detecção dos "raios catódicos", cuja denominação foi dada por Eugen Goldstein em 1876¹³.

Em 1869, em seus estudos com tubos de "raios catódicos", Hittorf observou que aparecia uma sombra no vidro quando havia algum objeto dentro do tubo obstruindo a passagem dos raios. Ele concluiu que alguma coisa saía do catodo e se propagava em linhas retas até a parede do tubo, e que essa coisa podia ser interceptada por corpos sólidos¹⁴. A natureza luminosa do feixe produzido nos tubos sugeria que os raios catódicos seriam um feixe de luz; porém, Hittorf aproximou um ímã do "feixe luminoso" e notou que este sofria um desvio. Concluiu, então, que os raios catódicos não poderiam ser luz, pois esta não é desviada por um campo magnético¹⁴.

1.1.4 A Hipótese de Varley do Comportamento Corpuscular dos Raios Catódicos

O engenheiro eletricitista inglês Cromwell Fleetwood Varley (1828–1883) também realizou estudos sobre a composição dos raios catódicos. Ele era o segundo dos dez filhos de um artista e inventor e sobrinho-neto de um fabricante de

¹² CHESMAN, C; ANDRÉ, C; MACÊDO, A. **Física moderna: experimental e aplicada**. 1.ed. São Paulo: Livraria da Física, 2004.

¹³ BASSALO, José Maria Filardo. **Os Fenômenos Elétricos e a Descoberta do Elétron**. 20--?.

¹⁴ UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. **Johann Wilhelm Hittorf**. 20--?.

instrumentos científicos e esteve envolvido, na década de 1860, com testes e instalação de cabos telegráficos transatlânticos, em cuja especialidade ficou famoso¹⁵.

Varley era espiritualista e acreditava que podia utilizar seus conhecimentos em comunicação telegráfica para entender a comunicação por "telégrafos espirituais" e achava que entidades espirituais ou não materiais podiam ter atributos materiais¹⁵. Nesse contexto, ele submeteu um artigo à Real Sociedade Inglesa sobre descargas elétricas em gases rarefeitos, no qual sugeria que os raios catódicos eram feixes de minúsculas partículas eletrificadas¹⁶.

1.1.5 Crookes e o Feixe de Partículas Negativas

Sir William Crookes (1832 – 1919) foi um químico e físico inglês, nascido em Londres, conhecido pela descoberta do elemento tálio, por seu estudo dos "raios catódicos" e por sua pesquisa psíquica aplicada. A partir de 1856, Crookes dedicou-se inteiramente a trabalhos científicos de vários tipos em seu laboratório particular em Londres. Ele construiu dispositivos similares aos tubos de Geissler, chamados de tubos de Crookes (Figura 2), para estudar o comportamento dos "raios catódicos"¹⁷.



Figura 2: Tubo de Crookes

¹⁵ NOAKES, R. Cromwell Varley FRS, Electrical Discharge And Victorian Spiritualism. **Notes and Records of The Royal Society**, vol. 61, p. 5-21, 2007.

¹⁶ PEREIRA, A. M. R. **Estudo do Impacto da Descoberta dos Raios-X e das suas Aplicações Médicas em Portugal**, 2012. 196 f. Dissertação (Mestrado em Química)– Universidade de Lisboa, Lisboa, 2012.

¹⁷ BROCK, W. H. The Royal Society's Glass Workers' Cataract Committee; Sir William Crookes and the development of sunglasses. **Notes and Records of The Royal Society**, vol. 61, p. 301–312, 2007.

Ele melhorou o vácuo no interior dos tubos, obtendo uma pressão interna cerca de 75.000 vezes menor que nos tubos de Geissler e aplicou altas voltagens em suas extremidades, com o intuito de descobrir a natureza do feixe de luz produzido pelo catodo¹⁸.

Crookes observou que o feixe luminoso propagava-se em linha reta, na ausência de ações externas. Apesar de não ter descoberto a natureza do feixe luminoso, ele considerou que o feixe era composto por partículas carregadas negativamente, enquanto outros cientistas como Goldstein, Hertz e Lenard defendiam a natureza ondulatória do feixe¹⁹.

Crookes observou que o feixe apresentava a propriedade de girar palhetas montadas na forma de ventoinhas, se uma porção delas fosse interposta no caminho do feixe²⁰. O movimento era tal que, se os raios catódicos atingissem a parte superior das ventoinhas, como na Figura 3, o sentido de rotação sempre coincidia com o sentido do catodo para o anodo.

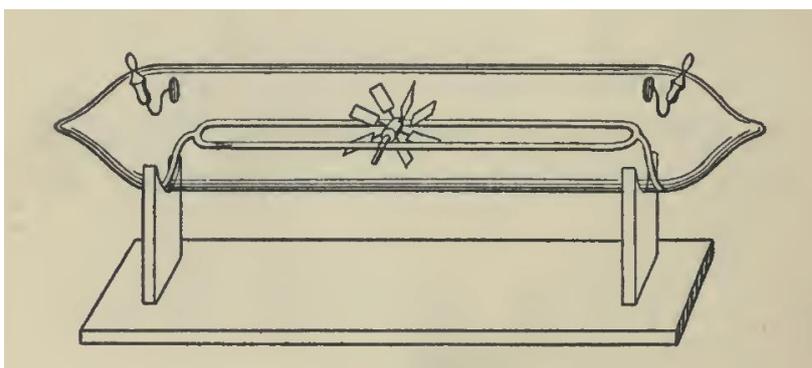


Figura 3: Tubos de Crookes contendo palhetas na forma de ventoinhas.

Assim, para Crookes, tal feixe era composto por partículas emitidas do catodo, a velocidades muito grandes, era defletido pela ação de um campo magnético como as cargas negativas e causava fosforescência e calor ao sofrer o impacto com as paredes de vidro do tubo²¹.

¹⁸ BASSALO, J. M. F. 100 Anos da Descoberta do Elétron. **Ciência e Sociedade** - CBPF-CS-019/97, Rio de Janeiro, 1997.

¹⁹ BROCK, W. H. The Royal Society's Glass Workers' Cataract Committee; Sir William Crookes and the development of sunglasses. **Notes and Records of The Royal Society**, vol. 61, p. 301-f2, 2007.

²⁰ CROOKES, W. The Bakerian Lecture: On the Illumination of Lines of Molecular Pressure, and the Trajectory of Molecules. **Philosophical Transactions of the Royal Society**, pp. 135-164, 1879

²¹ THOMSON, J. J. **The Discharge of Electricity Through Gases**, Westminster: Archibald Constable & CO, 1898.

1.1.6 Perrin e o Feixe de Partículas Negativas

O físico e químico francês Jean-Baptiste Perrin (1870-1942) foi educado na Escola Normal Superior, tornando-se assistente em Física de 1894 a 1897. Nesse período ele iniciou suas pesquisas sobre raios catódicos e raios-X, que resultaram em sua tese de doutorado, defendida em 1897²².

Em 1896, Perrin apresentou os resultados de um experimento sobre raios catódicos que eram emitidos de um catodo posicionado no interior de um tubo evacuado. Ele colocou um cilindro metálico entre os eletrodos de um tubo de descarga elétrica e protegeu esse cilindro contra a ação de qualquer efeito elétrico, colocando-o imerso em outro cilindro maior, que era mantido aterrado. Depois, aplicou uma diferença de potencial através do tubo e percebeu que o cilindro interno tornava-se eletricamente carregado com uma carga elétrica negativa. Concluiu, da mesma forma que Crookes, que os raios catódicos possuíam carga elétrica negativa²³.

1.1.7 A descoberta de um novo corpúsculo por Thomson

Joseph John Thomson (1856 – 1940) nasceu em Manchester (noroeste da Inglaterra) em 18 de dezembro de 1856. Era filho de um livreiro e editor, que morreu quando ele tinha 16 anos. Por sugestão do seu pai, com 14 anos ingressou no Owens College para estudar Engenharia e foi quando desenvolveu um grande interesse pela Física, Química e pelas teorias atômicas da matéria, principalmente pelas ideias de Dalton²⁴. Em 1876, com 19 anos de idade, ingressou no Trinity College para dar continuidade aos seus estudos de Física e Matemática. Após se formar, foi professor de Física Experimental em Cambridge, de 1884 a 1918, e, como pesquisador, foi responsável pelo grande desenvolvimento do Laboratório de Cavendish²⁴.

Os primeiros trabalhos de J. J. Thomson seguiram a trilha aberta por James Clerk Maxwell (primeiro pesquisador do Laboratório de Cavendish), que unificou a

²² NOBEL LECTURES - **Physics 1922-1941**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1965.

²³ SILVA, L. C. M. et al. Determinação da razão carga/massa do elétron com enfoque histórico-experimental para o ensino médio. In: XVIII Simpósio Nacional de Ensino de Física, 2009, Vitória.

²⁴ NOBEL LECTURES - **Physics 1922-1941**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1965.

Eletricidade e o Magnetismo²⁵. Em 1883, Thomson iniciou sua investigação experimental sobre condução de eletricidade por gases, que levaria à descoberta do elétron e, posteriormente, ao modelo atômico²⁴.

Antes da criação do Laboratório Cavendish e da descoberta do elétron, o átomo já tinha sido concebido por Demócrito, filósofo grego que viveu em torno de 400 a.C., como uma partícula indivisível, invisível a olho nu, impenetrável e animada de movimento próprio²⁴. Existiria uma quantidade infinita de átomos, segundo esse filósofo. Na primeira década de 1800, o químico, físico e meteorologista inglês John Dalton apresentou o seu modelo de átomo como sendo uma esfera maciça, de tamanho variável, impenetrável, indivisível e envolvido por uma "atmosfera" denominada *calórico*, que era responsável pela atração ou repulsão entre os elementos. Propôs, ainda, que os átomos de um mesmo elemento químico possuíam propriedades iguais e podiam se combinar, formando compostos. Após 1834 e a partir do estudo da eletrólise, Michael Faraday concluiu que os átomos transportavam carga elétrica, a qual foi denominada de elétron pelo físico irlandês George Johnstone Stoney²⁶.

Em 1897, Thomson concluiu suas investigações que levaram à comprovação da existência do elétron e ganhou o Prêmio Nobel de Física em 1906 por suas pesquisas sobre condução de eletricidade através dos gases. Na conferência do Nobel ele descreve suas experiências e conclusões acerca desse assunto, em

[...] um relato de algumas investigações que levaram à conclusão de que os carregadores de eletricidade negativa são corpos, que denominei corpúsculos, com uma massa muito menor do que a de um átomo de qualquer elemento conhecido, e que têm sempre o mesmo caráter não importando a fonte de onde provenham²⁶.

Em suas experiências, ele utilizou um tubo altamente evacuado (Figura 4), através do qual passava uma corrente elétrica. Produziu uma deflexão dos raios catódicos", tanto por forças elétricas quanto por forças magnéticas, o que indicava que os raios eram formados por cargas negativas²⁶.

²⁵ THOMSON, J.J. **Notes on Recent Researches in Electricity and Magnetism**. Oxford: Clarendon Press, 1893.

²⁶ MOREIRA, I. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron: Tradução e notas Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no. 3, setembro, 1997.



Figura 4: Tubo de raios catódicos usado por Thomson

Na figura 5 está esquematizado o experimento utilizado por Thomson. O feixe de elétrons era emitido pelo catodo e chegava aos anodos com velocidade v . As placas condutoras paralelas produziam um campo elétrico que desviava o feixe de elétrons; quando as placas estavam desligadas o feixe de elétrons possuía uma trajetória retilínea. O feixe de elétron chegava à tela fosforescente que se iluminava²⁷.

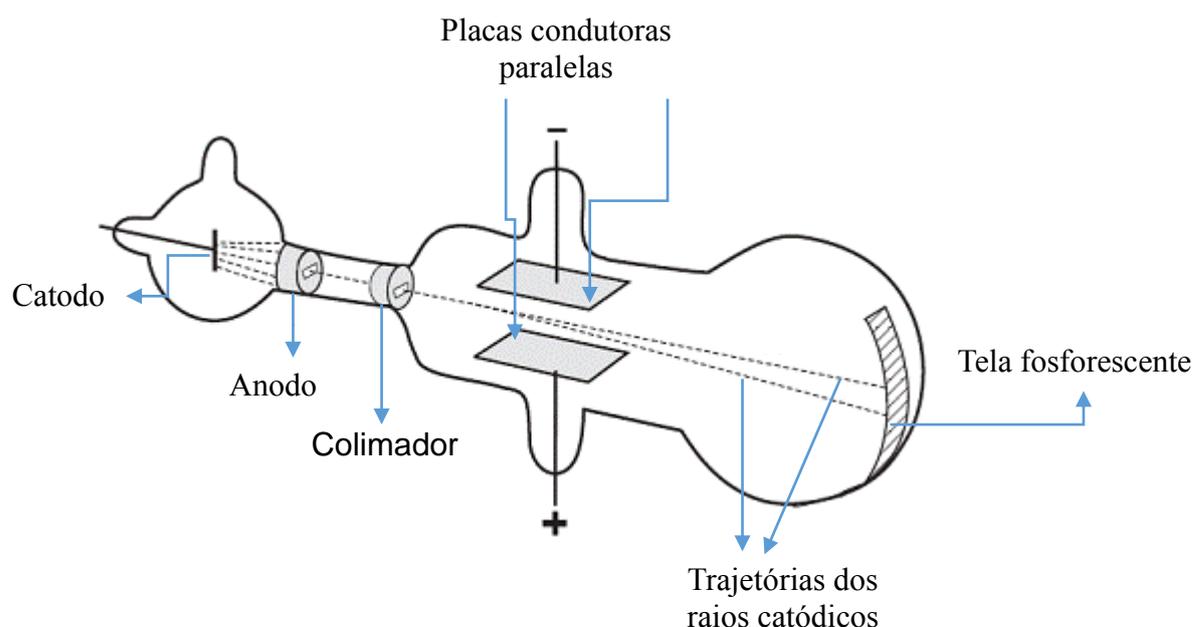


Figura 5: Imagem esquemática do tubo utilizado por Thomson

²⁷ SILVA, L. C. M.; SANTOS, W. M. S.; DIAS, P. M. C. A carga específica do elétron: um enfoque histórico e experimental. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 1601, 2011.

Antes de determinar a razão carga/massa do elétron, ele determinou a velocidade dos "corpúsculos" (nome que Thomson deu aos elétrons) que, segundo ele, eram portadores de carga negativa com massa muito menor que a do átomo de qualquer elemento conhecido, ou seja, seria uma partícula menor que o átomo²⁸.

Para determinar a velocidade, Thomson também submeteu os "raios catódicos" à ação de um campo magnético perpendicular à direção de movimento dos corpúsculos que formam os "raios catódicos"²⁸.

Nesse caso, um corpúsculo está sob a ação de uma força magnética igual a

$$F = Bev$$

onde " B " é o módulo do campo magnético, " e " o módulo da carga do elétron e " v " o módulo da velocidade do elétron²⁸.

A força magnética atua na direção perpendicular ao campo magnético e à direção da velocidade da partícula²⁸.

Submetendo a partícula a um campo elétrico, então, os "raios catódicos" serão submetidos a uma força elétrica igual a

$$F = Ee$$

sendo " E " o módulo do campo elétrico e " e " o módulo da carga do elétron²⁹.

Se os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares, então, quando a força magnética é ajustada para balancear a força elétrica, o feixe luminoso não será desviado, e assim

$$Bev = Ee$$

$$v = \frac{E}{B}$$

Ou seja, medindo-se os valores dos campos elétrico e magnético, pode-se determinar o valor da velocidade do elétron²⁹.

Posteriormente, Thomson submeteu os "raios catódicos" à ação apenas do campo elétrico²⁹. Dessa forma, as partículas que formam os "raios catódicos" estarão sob a ação de uma força constante, da mesma forma que um objeto lançado horizontalmente está sob a ação da força gravitacional.

No caso do lançamento horizontal, a altura de queda do objeto é $H = \frac{1}{2}gt^2$,

²⁸ MOREIRA, I. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron: Tradução e notas Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no. 3, setembro, 1997.

²⁹ MOREIRA, I. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron: Tradução e notas Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no. 3, setembro, 1997.

sendo g a aceleração devido ao campo gravitacional. No caso dos "raios catódicos", a aceleração dos elétrons é devida ao campo elétrico (Figura 6). Sabe-se que a força elétrica é $F = Ee$ e a força resultante é $F_R = ma$, assim, nesse caso, como apenas a força elétrica atua no elétron, a força resultante será igual a força elétrica, então a **aceleração, devido ao campo elétrico, é igual a:**

$$a = \frac{Ee}{m}$$

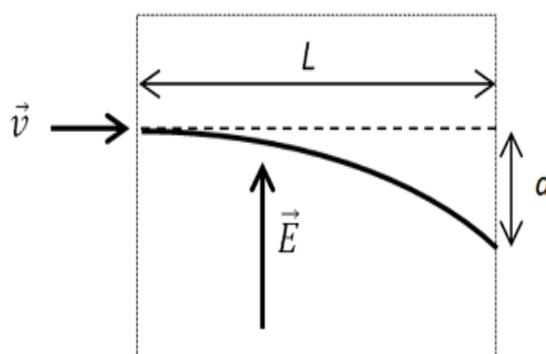


Figura 6: Ilustração da ação do campo elétrico sobre uma carga elétrica negativa

Fazendo a análise do movimento na direção horizontal sabemos que a velocidade é constante e a distância que o elétron percorre nessa direção será $L = vt$, portanto, o tempo $t = \frac{L}{v}$ é o tempo que o elétron demora para percorrer a distância L ³⁰.

Logo, a distância que o elétron percorre verticalmente pode ser determinada por:

$$d = \frac{1}{2} \frac{Ee}{m} \frac{L^2}{v^2}$$

Então:

$$\frac{e}{m} = \frac{2d}{E} \frac{v^2}{L^2}$$

Thomson variou o tipo do tubo de descarga e a pressão no seu interior e sempre obteve o mesmo valor para a razão e/m para todas as partículas do raio catódico. O valor obtido por Thomson em seu experimento era cerca de 1700 vezes

³⁰ MOREIRA, I. C. Conferência Nobel de Thomson sobre a Descoberta do Elétron: Tradução e notas Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 19, no. 3, setembro, 1997.

o valor da razão carga/massa para o átomo de hidrogênio ionizado, que tinha a menor razão carga/massa conhecida na época. Isso significava que, ou a carga elétrica era muito maior do que a do átomo de hidrogênio ionizado, ou que a massa era muito menor³⁰.

Como a carga e a massa são duas das características de uma partícula, esse fato representou a descoberta de uma partícula diferente. Assim, o átomo de hidrogênio não era mais a menor partícula conhecida; para Thomson, o corpúsculo (elétron) era a menor³¹.

Porém,

[...] muitos historiadores, hoje, são cautelosos em atribuir a Thomson a descoberta do elétron; a principal razão é que as medidas de Thomson apresentam grande dispersão. Mas ele foi o primeiro a fazer a hipótese do elétron como parte da constituição da matéria, uma conclusão que ultrapassa o resultado de seus experimentos³².

1.1.8 A determinação do valor da carga do elétron por Millikan

Robert Andrews Millikan (1868 – 1953) nasceu em Morrison, no Estado de Illinois, nos Estados Unidos, em 22 de março de 1868. Segundo filho do Reverendo Silas Franklin Millikan e de Mary Jane Andrews, teve uma infância na área rural e foi educado na Maquoketa High School, em Iowa³³.

Depois de aprender taquigrafia e trabalhar por um curto período de tempo como repórter de tribunal de justiça, ele entrou para o Oberlin College, em Ohio, em 1886. Seus temas favoritos na faculdade eram Grego e Matemática³³. No segundo ano de graduação, Millikan realizou um curso de Física de doze semanas³³. Como o livro de Física utilizado no curso era de difícil compreensão, ele achou o curso uma completa perda de tempo³³.

No final do segundo ano de faculdade, seu professor de Grego pediu-lhe que ministrasse o curso de Física elementar no ano seguinte³³. Ele não se sentiu preparado, porém seu professor encorajou-o dizendo que "qualquer um que consiga se sair bem em Grego, pode ensinar Física". Millikan aceitou a proposta, mas disse que seu professor deveria arcar com as consequências³³. Assim, ele passou suas

³¹ SERRA, I. M. F. M. Joseph John Thomson, As descargas em gases e a descoberta do electrão, **Atualidades Biológicas**, 2ª Série, Vol. LI, História e Filosofia das Ciências, Instituto Rocha Cabral, pp. 1-14, 2008.

³² BASSALO, J. M. F. 100 Anos da Descoberta do Elétron. **Ciência e Sociedade** - CBPF-CS-019/97, Rio de Janeiro, 1997.

³³ NOBEL LECTURES - **Physics 1922-1941**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1965.

férias de verão tentando dominar o assunto e, a partir disso, começou a gostar de Física³³.

Em 1891 terminou sua graduação, em 1893 obteve seu título de mestre e em 1895 obteve seu doutorado³⁴. Entre 1895 e 1896, dedicou seu tempo estudando Física nas universidades de Berlim e Gottingen, na Alemanha³⁴.

Após essa temporada na Alemanha, Millikan foi convidado para trabalhar como assistente de Albert Abraham Michelson no Ryerson Laboratory da Universidade de Chicago³⁴.

Nos primeiros doze anos em Chicago dedicou-se à organização de cursos e textos para o ensino universitário³⁴. No início do século XX, Millikan não tinha resultados de excelência publicados e não havia atingido uma posição de físico pesquisador, enquanto vários pesquisadores já haviam publicado trabalhos de extrema importância para o desenvolvimento da Física moderna. Assim, motivado pelas recém-descobertas da época, ele deixou em segundo plano o ensino de Física e se dedicou à pesquisa, mais precisamente à determinação da carga do elétron³⁴.

Thomson havia descoberto a razão entre a carga e a massa do elétron em 1897 e Millikan iniciou seus estudos para determinar a carga do elétron em 1906. Para isso, ele analisou o comportamento que gotículas de água eletricamente carregadas manifestavam, quando submetidas a campos gravitacional e elétrico no interior de uma câmara fechada³⁵.

Porém, como as gotículas de água evaporavam, ele substituiu a água por óleo. Em sua experiência (Figura 7), ele pode manipular a velocidade das gotículas de óleo eletricamente carregadas regulando a intensidade do campo elétrico³⁵. Quando a intensidade da força elétrica aplicada à gotícula de óleo se igualava à intensidade da força gravitacional, a gotícula permanecia em equilíbrio³⁵.

³⁴ NOBEL LECTURES - **Physics 1922-1941**. Amsterdam: Elsevier Publishing Company, 1965.

³⁵ MILLIKAN, R. A. The electron and the light-quant from the experimental point of view. **Nobel Lecture**, May 23, 1924.



Figura 7: Aparato experimental de Millikan

Assim,

$$F_e = F_g$$

$$qE = mg$$

$$q = \frac{mg}{E}$$

onde, F_g é o módulo da força gravitacional, F_e é o módulo da força elétrica, m é a massa da gotícula de óleo, g é o módulo do campo gravitacional, q é a carga elétrica da gotícula e E é o módulo do campo elétrico.

Como a massa da gotícula, a intensidade do campo gravitacional e a do campo elétrico já haviam sido determinadas, então, foi possível determinar a carga elétrica da gotícula³⁶. Com a colaboração de Begeman, seu auxiliar, ele chegou à conclusão de que os valores das cargas das diversas gotículas eram sempre múltiplos exatos da menor carga que eles haviam obtido³⁶.

Assim, Millikan obteve experimentalmente, e pela primeira vez de uma forma acurada, que as cargas das gotículas correspondiam a múltiplos inteiros de uma carga elementar igual a $4,891 \times 10^{-10}$ unidades eletrostáticas, o que era equivalente a $e \approx 1.633 \times 10^{-19} \text{ C}$ ³⁷. Posteriormente, Millikan introduziu alguns melhoramentos nos valores das constantes que entravam na determinação do valor da carga do elétron e obteve um valor mais acurado, igual a $e = 4,774 \times 10^{-10}$ unidades eletrostáticas, equivalente a $e \approx 1.594 \times 10^{-19} \text{ C}$ e com apenas 0,5% de erro relativo ao melhor valor aceito atualmente ($1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$)³⁸. O experimento de Millikan foi

³⁶ MILLIKAN, R. A. The electron and the light-quant from the experimental point of view. **Nobel Lecture**, May 23, 1924.

³⁷ MILLIKAN, R. A. On the Elementary Electrical charge and the Avogadro Constant. **Phys. Rev.** v. 2, n. 2, pp. 109 – 143, 1913.

³⁸ MILLIKAN, R. A. On the Elementary Electrical charge and the Avogadro Constant. **Phys. Rev.** v. 2, n. 2, pp. 109 – 143, 1913.

muito superior aos experimentos de outros pesquisadores que também tentaram determinar a carga do elétron.

Esse experimento histórico, popularmente conhecido como a Experiência da Gota de Óleo de Millikan, gerou grande impacto na comunidade científica da época e rendeu a ele o Premio Nobel em 1923.

A experiência de Millikan é considerada a terceira entre as 10 melhores experiências classificadas pela revista *Physics World*. Como cientista, Millikan fez inúmeras descobertas importantes, principalmente nas áreas de eletricidade, óptica e física molecular.

Hoje, o aparato experimental que Thomson utilizou ficou um pouco mais moderno. O experimento utilizado neste trabalho é uma versão muito parecida com a de Thomson.

1.2.0 Experimento Remoto para Determinar a Razão Carga/Massa do Elétron

1.2.1 O Aparato Experimental

O aparato experimental que serve para determinar a razão entre a carga e a massa do elétron foi adquirido pelo Instituto de Física da UFU e cedido para que pudéssemos adaptá-lo para uso remoto. Um experimento semelhante a esse foi construído e utilizado por Thomson em 1897, em seus estudos sobre a descarga elétrica em gases e resultou na comprovação da existência do elétron.

O aparato consiste em um tubo de feixe estreito de elétrons (Figura 8), um par de bobinas de Helmholtz (Figura 9), duas fontes de tensão (Figura 10) e dois multímetros (um, com função de voltímetro, e outro, com a função de amperímetro) (Figura 11). A montagem de todos esses equipamentos está apresentada na figura 12.



Figura 8: Tubo de feixe de elétrons do aparato experimental, mostrando: (1) o bulbo de vidro; (2) a base do sistema; (3) a conexão para o anodo; (4) a conexão para o catodo; (5) a conexão para o cilindro de Wehnelt e (6) a conexão para a espiral de aquecimento.

O tubo de feixe estreito é constituído por uma esfera de vidro (bulbo) que contém gás neon a baixa pressão (aproximadamente $1,28 \times 10^{-5}$ atm). No interior do tubo existe um canhão de elétrons, denominado catodo, que, ao ser aquecido por uma espiral de aquecimento, emite um feixe de elétrons; daí, a denominação de raios catódicos. Esse feixe é acelerado pelo anodo, o qual é conectado a um

potencial positivo, que pode ser controlado pelo experimentador. Nesse processo de aceleração, o campo elétrico gerado pela diferença de potencial entre o anodo e o catodo realiza trabalho sobre cada elétron do feixe, fornecendo energia cinética ao mesmo. O feixe passa, então, pelo cilindro de Wehnelt, que fica conectado a um potencial positivo em relação ao catodo e que atua como uma lente (colimadora) sobre o feixe, evitando a sua dispersão e garantindo um feixe estreito.

Após atravessar o cilindro de Wehnelt, o feixe de elétrons colide com as moléculas do gás presentes no bulbo, quando há a produção da luminescência, que permite a visualização do caminho percorrido pelo feixe no interior do tubo.

Esse tubo é colocado no interior das bobinas de Helmholtz (Figura 9). Essas bobinas constituem num dispositivo para produzir campos magnéticos praticamente uniformes em uma região relativamente grande do espaço. O dispositivo consiste em duas bobinas circulares idênticas, cada uma contendo N espiras condutoras. Os planos das bobinas são dispostos paralelamente e separados por uma distância igual ao seu raio. A bobina do experimento utilizado possui um raio de 14,75 cm e 124 espiras. Ao se estabelecer uma mesma corrente elétrica contínua em cada bobina, que devem ser conectadas em série, de forma que o sentido de percurso dessa corrente seja a mesma em cada uma, há a geração de um campo magnético, cujo valor pode ser alterado pela mudança na intensidade da corrente elétrica. O campo magnético produzido pelas bobinas tem a função de exercer uma força magnética no feixe de elétrons, curvando-o no tubo de raios catódicos, de tal forma que o plano da trajetória do feixe fique praticamente paralelo ao plano das bobinas (Figura 13).

Dentro da esfera de vidro existe uma escala graduada, em 2cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm e 10 cm, para servir de referência na medida do diâmetro e, portanto, do raio da trajetória do feixe encurvado (Figura 8).



Figura 9: Bobinas de Helmholtz do aparato experimental.



(a)



(b)

Figura 10: Fontes de tensão (a) para alimentação das bobinas de Helmholtz e (b) para alimentação do tubo de feixe de elétrons do aparato experimental.



(a)

(b)

Figura 1111: Multímetros funcionando como (a) amperímetro e (b) voltímetro.



Figura 12: Aparato experimental do equipamento para determinar a razão carga/massa do elétron.

O esquema de conexões elétricas do aparato experimental encontra-se na Figura 13. O conjunto consiste em dois circuitos elétricos independentes, mas acoplados. Um circuito contém as bobinas de Helmholtz (H), ligadas em série, alimentadas por uma fonte (F_1), e conectadas a um amperímetro (A). O outro circuito contém o tubo de raios catódicos (T), alimentado por uma fonte (F_2) e conectado a um voltímetro (V).

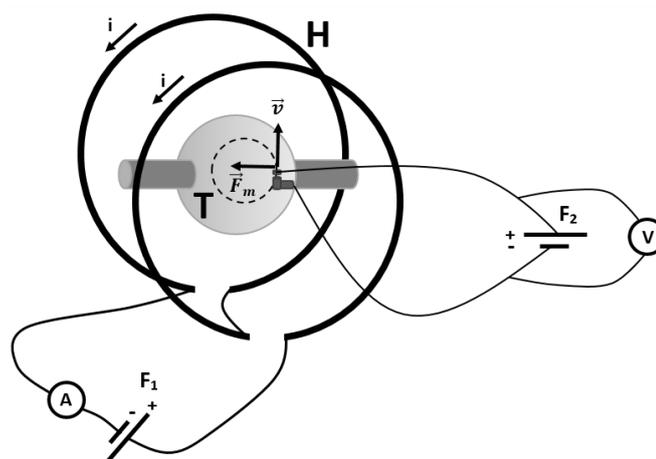


Figura 13: Esquema das conexões elétricas do aparato experimental

A fonte de tensão (F_1) é alimentada por uma diferença de potencial alternada de 110V e gera uma corrente elétrica contínua e ajustável entre 0A e 4A nas bobinas

de Helmholtz. O valor dessa corrente é medido pelo amperímetro (A).

A fonte de tensão (F_2), que está ligada ao tubo (T), é utilizada para fornecer um potencial elétrico negativo ao catodo (canhão de elétrons) e um potencial positivo ao anodo (filamento metálico positivo), estabelecendo um campo elétrico entre os dois filamentos, que é responsável pela aceleração dos elétrons e pela formação do feixe no interior do tubo. Essa fonte também é alimentada por uma diferença de potencial alternada de 110V e pode fornecer uma tensão de saída contínua, ajustável entre 0V e 300V. A tensão de saída é medida pelo voltímetro (V) ligado ao experimento. Essa fonte também possui um controle para ajustar a colimação do feixe de elétrons, ou seja, manter o feixe estreito. Esse feixe é acelerado por uma diferença de potencial que pode ser controlada pelo experimentador, pelo ajuste da voltagem de saída da fonte de tensão (F_2) conectada ao canhão de elétrons.

No próximo item será explicado como a Física está relacionada com a realização do experimento para se encontrar o resultado da razão carga/massa do elétron.

1.2.2 A Determinação da Razão Carga/Massa com o Aparato Experimental

Deve-se ter em mente que o experimento aqui disponibilizado não permite, obviamente, seguir o percurso histórico original empreendido por Thomson, especialmente no que se refere às observações sobre as propriedades dos raios catódicos: a) em relação à qualidade do vácuo produzido no tubo, ou do tipo do gás inserido no mesmo; b) aos efeitos mecânicos dos raios catódicos; aos efeitos térmicos produzidos pelos raios ao atingir objetos.

Entretanto, a ação de campos magnéticos sobre os raios e o transporte de uma carga elétrica negativa pelo mesmo podem ser verificados e devidamente transpostos para a sala de aula, mas não a independência da sua deflexão em relação da natureza e pressão do gás.

Portanto, as discussões a seguir assumirão que os raios catódicos transportam um corpúsculo dotado de carga elétrica negativa.

O início de todo o processo, conforme descrito na sessão anterior, está na liberação dos corpúsculos de carga negativa no catodo, por aquecimento.

Ao ser aplicada uma diferença de potencial U entre o catodo e o anodo, pela

fonte F_2 da Figura 14, com o catodo conectado ao polo negativo da fonte e o anodo ao polo positivo, haverá o estabelecimento de um campo elétrico E entre esses dois elementos. De acordo com o conceito de tubos de força elétrica de Michael **Faraday**, as linhas desse campo estarão orientadas no sentido do anodo para o catodo.

O corpúsculo de carga elétrica $-e$, ejetado do catodo, irá sofrer, na presença do campo elétrico E , uma força elétrica F_e , cujo sentido será oposto ao do campo elétrico e cujo módulo será dado por:

$$F_e = eE \quad (1)$$

Como não é possível medir qualquer uma dessas quantidades físicas por meio do experimento, deveremos avançar um pouco mais na exploração desse aspecto físico inicial.

Se a distância linear entre o catodo e o anodo for representada por d , o módulo do campo elétrico E estará relacionado à diferença de potencial U como em um capacitor de placas planas e paralelas, resultando

$$U = Ed \quad (2)$$

Assim, substituindo-se a expressão do potencial elétrico (2) na expressão (1), a força elétrica atuando no corpúsculo pode ser escrita como

$$F_e = \frac{eU}{d} \quad (3)$$

Essa força elétrica irá realizar um trabalho sobre cada corpúsculo no percurso do catodo ao anodo, cujo valor pode ser calculado a partir da expressão

$$W = F_e d \cos\theta \quad (4)$$

onde θ é o ângulo formado entre os sentidos da força elétrica F_e e do deslocamento d , que vale zero. Portanto, substituindo a expressão (3) em (4) para $\cos\theta = 1$, temos

$$W = F_e d = eU \quad (5)$$

Da relação trabalho-energia, o trabalho W irá provocar uma variação da energia cinética do corpúsculo. Se considerarmos que o corpúsculo abandonou o catodo com energia cinética nula, a sua energia cinética final E_c será dada por

$$E_c = W \quad (6)$$

que, com o auxílio da equação (5), pode ser escrita como

$$\frac{mv^2}{2} = eU \quad (7)$$

sendo m a massa do corpúsculo e v a sua velocidade final, a qual pode ser obtida a partir de (7), como

$$v = \left(\frac{2eU}{m}\right)^{1/2} \quad (8)$$

Essa será a velocidade com que os corpúsculos do feixe passarão pelo cilindro de Wehnelt. Deve-se observar que, na expressão (8), apenas o valor da diferença de potencial U pode ser lido diretamente em um dos multímetros do aparato experimental utilizado. Assim, não é possível fazer a determinação da velocidade de propagação do feixe no interior do tubo por meio dessa expressão. Devemos avançar ainda mais na exploração teórica do fenômeno em estudo.

Na ausência de campo magnético no bulbo, o feixe seguirá uma trajetória retilínea até atingir a parede de vidro do tubo e não é possível obter qualquer informação física adicional às que já foram utilizadas até o momento.

Entretanto, se as bobinas de Helmholtz forem alimentadas por uma corrente elétrica, dando origem à um campo magnético uniforme atuando sobre o feixe, a interação dos corpúsculos negativamente carregados com esse campo traz novas informações físicas.

O novo instrumental teórico a ser utilizado é atribuído aos estudos realizados pelo físico holandês Hendrik Antoon Lorentz (1853-1928) que, em 1895, analisou o efeito do magnetismo sobre partículas carregadas, o qual mostrou que uma partícula com carga elétrica e , com uma velocidade v , na presença de um campo magnético

B , sofre uma força magnética F_m , dada por

$$\vec{F}_m = e \vec{v} \times \vec{B} \quad (9)$$

Assim, se a partícula elétrica for um corpúsculo de carga negativa de módulo e , com uma velocidade v perpendicular ao campo magnético B , gerado pelas bobinas de Helmholtz, o módulo dessa força magnética F_m é dada por

$$F_m = evB \quad (10)$$

Como essa força sempre atua em uma direção ortogonal à velocidade, seu efeito é o de produzir um desvio na direção de propagação de cada corpúsculo do feixe, ocasionando uma curvatura no feixe como um todo (Figura 13). Assim, a força magnética atua como uma força centrípeta F_{cp} para cada corpúsculo do feixe e podemos escrever

$$F_{cp} = F_m \quad (11)$$

Substituindo as expressões para as forças centrípetas e magnética na equação acima, temos

$$\frac{mv^2}{r} = evB \quad (12)$$

sendo r o raio de curvatura do feixe, m a massa do corpúsculo e v a velocidade expressa pela equação (8).

Dessa forma, é possível obter o raio de curvatura r do feixe, simplesmente isolando essa variável na expressão acima, obtendo-se

$$r = \frac{mv}{eB} \quad (13)$$

Ao realizar o experimento, pode-se ajustar o raio de curvatura r , de tal forma que o feixe tenha um dos diâmetros marcados na escala graduada em 2 cm, 4 cm, 6 cm, 8 cm e 10 cm, no interior do tubo.

O campo magnético B na expressão (13) é aquele produzido pelas bobinas de Helmholtz de raios R , percorridas por uma corrente i , e cuja expressão teórica

pode ser obtida a partir da aplicação da Lei de Biot-Savart para o cálculo do campo magnético de uma única espira percorrida por corrente elétrica. Os detalhes desse cálculo serão omitidos aqui, mas podem ser encontrados em qualquer livro de Eletromagnetismo. Para o arranjo das bobinas de Helmholtz, o campo magnético entre as bobinas e no seu eixo de simetria é dado por

$$B = \left(\frac{4}{5}\right)^{3/2} \left(\frac{\mu_0 N i}{R}\right) \quad (14)$$

onde μ_0 é a permeabilidade magnética do ar ($\mu_0 = 1,26 \times 10^{-6}$ T.m/A) e N é o número de espiras de uma bobina.

Agora, como são conhecidos os valores de N ($N = 124$) e de R ($R = 14,75$ cm) das bobinas utilizadas, o valor do campo magnético que atuará sobre os elétrons do feixe pode ser calculado a partir da medida da corrente elétrica i que percorre as bobinas e com o uso da equação (14). O valor da corrente i é lida no voltímetro conectado à fonte F_1 representada na Figura 13.

Inserindo-se a velocidade (equação 8), na equação (13), obtém-se

$$r = \left(\frac{2mU}{eB^2}\right)^{1/2} \quad (15)$$

Isolando-se nessa equação a razão carga/massa do elétron, chega-se a

$$\frac{e}{m} = \frac{2U}{r^2 B^2} \quad (16)$$

Escrevendo explicitamente o campo magnético dado pela expressão (14), a expressão (16) torna-se

$$\frac{e}{m} = \left(\frac{125}{32}\right) \left(\frac{R}{\mu_0 N r}\right)^2 \left(\frac{U}{i^2}\right) \quad (17)$$

Na expressão (17), todos os parâmetros e variáveis que aparecem no lado direito são conhecidos ou podem ser medidos no experimento. Dessa forma, essa expressão pode ser utilizada para se determinar a razão carga/massa do corpúsculo emitido do catodo.

Antes disso, podemos simplificar um pouco a notação da equação (17), notando que, tanto o potencial acelerador U , quanto a corrente elétrica i são as únicas variáveis do lado direito dessa equação. Então, adotando

$$K(r) = \left(\frac{125}{32}\right) \left(\frac{R}{\mu_0 N r}\right)^2 \quad (18)$$

que permanece constante para cada valor do raio de curvatura r escolhido, chegamos finalmente à seguinte expressão

$$\frac{e}{m} = K(r) \left(\frac{U}{i^2}\right) \quad (19)$$

O melhor procedimento para se obter a razão carga/massa experimentalmente é pelo método gráfico e, para tanto, é interessante escrever a equação (19) na forma do potencial elétrico acelerador U , em função do quadrado da corrente elétrica, i^2 , da seguinte forma

$$U = \frac{e}{m} \left(\frac{1}{K(r)}\right) i^2 \quad (20)$$

A vantagem dessa notação é mostrar claramente que a relação entre U e i^2 é linear, uma vez que o termo que precede i^2 é constante para um raio de curvatura r fixado. Portanto, variando-se a corrente elétrica nas bobinas de Helmholtz e ajustando-se o potencial acelerador U para manter fixo o valor do raio escolhido, monta-se uma tabela com uns dez valores da função $U(i^2)$. Com os dados dessa tabela, constrói-se um gráfico de U em função de i^2 e determina-se o coeficiente angular da reta pelo cálculo da inclinação da mesma. Denotando-se o coeficiente angular por α temos

$$\alpha = \frac{e}{m} \left(\frac{1}{K(r)}\right) \quad (21)$$

Uma vez determinado α pelo processo gráfico, chega-se finalmente à razão carga/massa

$$\frac{e}{m} = \alpha K(r) \quad (22)$$

Para os melhores valores atualmente aceitos para a carga e a massa do elétron, a razão carga/massa possui um valor de $1,76 \times 10^{11}$ C/kg.

Esses mesmos cálculos são utilizados para determinar a razão carga/massa com o experimento remoto. No próximo item será descrito como foi realizada a transformação do experimento em um experimento remoto.

1.2.3 O Experimento Remoto

Todo o aparato experimental (bobinas de Helmholtz, tubo de raios catódicos, fontes de tensão e instrumentos de medida) foi adquirido e doado pelo Instituto de Física da Universidade Federal de Uberlândia e não representou gastos adicionais para o projeto. A Figura 14 mostra o aparato experimental disponibilizado para o acesso remoto. As conexões mecânicas e elétricas, assim como as programações computacionais necessárias, foram realizadas por estudantes do NUTEC, que possuíam conhecimentos nessas áreas.

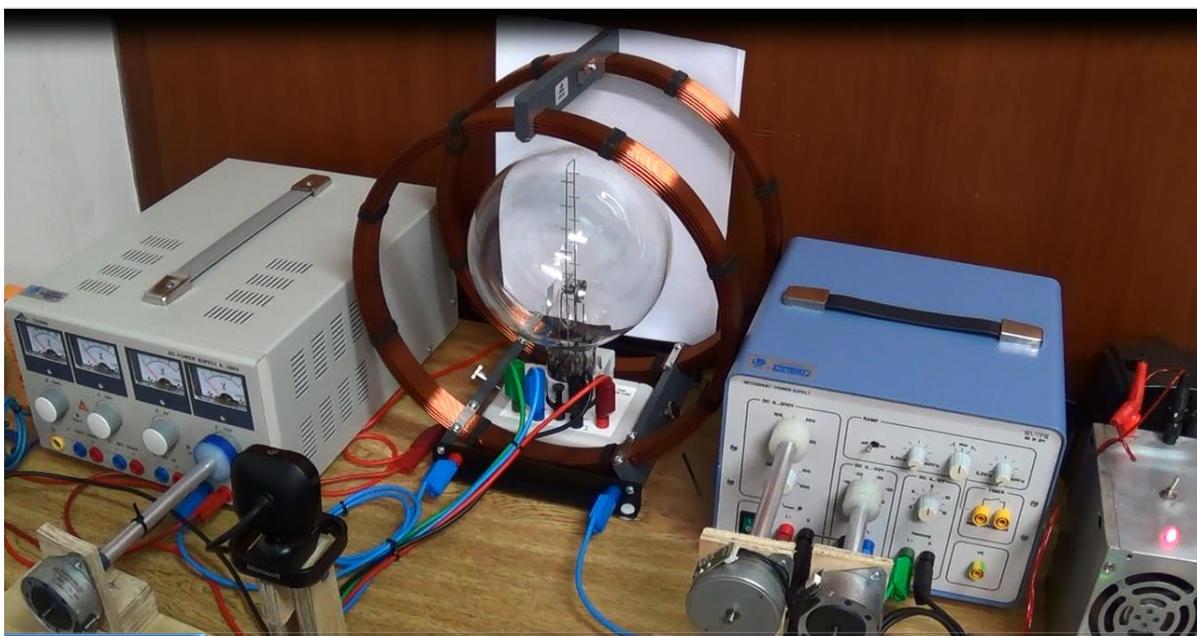


Figura 14: Conexões mecânicas entre os motores de passo e os potenciômetros das fontes de tensão

Em um procedimento *hands on* o usuário necessita selecionar tanto o potencial acelerador do feixe, quanto a corrente elétrica na bobina, para ajustar o raio de curvatura do feixe em um dos valores dispostos numa escala interna ao tubo de Crookes (tubo de feixe estreito) (Figura 8). Isso é feito, girando-se dois potenciômetros: um, da fonte de tensão (F_1) (Figura 13), que fornece a corrente elétrica i para as bobinas de Helmholtz e, outro, da fonte de tensão (F_2) (Figura 13), que fornece o potencial acelerador U . Para melhor visualização do brilho do feixe, é possível, ainda, ajustar a sua colimação, o que é feito por meio da rotação de outro potenciômetro disposto na fonte de tensão (F_2).

Dessa forma, em um procedimento remoto, há a necessidade de se rotacionar esses três potenciômetros. Nesse sentido, o sistema de controle desenvolvido utilizou três motores de passo que foram conectados mecanicamente aos três potenciômetros, permitindo ao usuário comandar o giro de cada um deles.

Os motores de passo apresentam grande confiabilidade no controle de sua posição em um sistema de malha aberta, boa capacidade de torque e podem ser facilmente encontrados em equipamentos de impressão e scanner. Além disso, não possuem o eixo livre, ou seja, não é necessária a aplicação de tensão aos terminais do motor para que este permaneça em sua última posição. A capacidade de realizar um giro completo de 360°, ao contrário de diversos servos motores que possuem originalmente um giro de apenas 180°, também se mostrou um fator de grande relevância no momento de sua escolha, uma vez que, para o controle dos potenciômetros das fontes de tensão, é necessário que o motor realize um giro controlado de 320°.

A plataforma de prototipagem eletrônica de código aberto Arduino Uno foi utilizada para permitir ao usuário ligar e desligar o aparato experimental e ajustar as voltagens de saída das fontes de tensão por meio dos motores de passo. O Arduino usa uma única camada de *software* implementada na placa (um *bootloader*) e apresenta uma interface amigável para programação. Utilizamos a linguagem de programação de código aberto *Processing*, que é baseada na linguagem C/C++.

O *hardware* desenvolvido recebe os comandos do usuário através de uma interface gráfica do Ambiente Virtual de Aprendizagem (Figura 15), e os envia à placa Arduino, via porta serial. Devido à robustez da aplicação, utilizamos a comunicação serial, uma vez que esse é o procedimento padrão adotado em quase todas as aplicações similares.



Figura 15: Imagem da interface gráfica do AVA, que permite a realização do experimento remoto para determinar a razão carga/massa do elétron, conforme vista pelo usuário

O resultado das ações do usuário pode ser visualizado por um conjunto de *webcams*. Uma *webcam* posicionada próxima ao tubo de Crookes mostra o raio da trajetória descrita pelo feixe de elétrons sob a ação do campo magnético produzido pelas bobinas de Helmholtz. Outras *webcams* mostram os valores do potencial acelerador do feixe e da corrente elétrica, como medidas por dois multímetros conectados ao aparato experimental (Figura 15). A partir desses dados, o usuário pode determinar a razão carga/massa do elétron.

Para a criação da tela de interface do experimento com o usuário, foi gerada uma página em linguagem HTML com CSS e *Flash*, a qual foi responsável por gerar as imagens dos botões das fontes de tensão, das chaves e também, das telas. Quando o usuário interage com a interface *web*, dados são enviados para os arquivos PHP, os quais são responsáveis por executar a parte lógica da comunicação assíncrona com a porta serial do Arduino.

A interface do *software* se comunica com o *hardware* utilizando duas variáveis internas, sendo uma responsável por determinar qual a porta a ser utilizada para a comunicação serial entre o usuário e a bancada experimental e a outra, responsável por determinar qual dos motores e respectivo sentido de rotação deve ser acionado.

Os códigos desenvolvidos em *JavaScript* são os responsáveis pela comunicação direta com o aplicativo responsável pelo gerenciamento da *webcam*, a qual pode gerar imagens de fotos do *kit* didático em intervalos de 4ms. Esses

aplicativos são responsáveis também por substituir a imagem anteriormente armazenada no disco rígido do microcomputador, eliminando assim, a necessidade de usar um stream de vídeo.

A partir do código computacional desenvolvido com base na tecnologia *JavaScript*, foi feita a automatização do processamento das imagens capturadas pela *webcam*, de forma que uma nova imagem do *kit* didático fosse exibida a cada 4ms, fornecendo assim para o usuário a percepção de estar vendo um vídeo em tempo real do experimento, pois a troca das imagens é imperceptível ao olho humano.

Visando conciliar o processamento de dados e de imagem simultâneos, foi necessário implantar o PHP de forma assíncrona com o auxílio do *JavaScript* através de um objeto, pois o PHP é uma linguagem síncrona na sua forma nativa. Sendo assim, os comandos gerados pelo usuário e que antes eram enviados diretamente para o servidor, passaram a ser tratados utilizando tecnologia AJAX, de forma assíncrona, para evitar a atualização de todo o conteúdo da tela de interface, permitindo a manipulação apenas dos conteúdos requeridos pelo usuário. Com a implantação do processamento assíncrono, a comunicação entre o microcomputador do usuário e o *kit* didático apresenta melhor desempenho, acelerando a atualização das páginas desenvolvidas e permitindo, no futuro, a implantação de processamento concorrente, conforme a necessidade do experimento.

Para o correto funcionamento do *WebLab*, foi realizada a implementação de um servidor *web open source* (APACHE), em ambiente Windows, necessário para permitir que o PHP fosse solicitado do lado cliente e para que o servidor realize a comunicação com o aplicativo desenvolvido em linguagem C para ser executado pela placa Arduino.

Para o usuário não existe dificuldade em executar a aplicação. Adicionalmente, ela é bastante amigável – necessitando nessa versão – apenas que seja empregado qualquer navegador *web* com suporte a *Flash Player*. Desse modo, é eliminada a necessidade de instalação de qualquer *plugin* ou *FrameWork* externo de terceiros.

O ambiente para a realização do experimento remoto, a partir de um dispositivo móvel com sistema operacional Android, possui uma interface ligeiramente diferente (Figura 16), mas permite as mesmas ações e visualizações ao

usuário. Nesse ambiente, o usuário visualiza o feixe de elétrons, a escala interna do tubo de Crookes (para a determinação do raio da trajetória) e os valores medidos para a corrente elétrica nas bobinas de Helmholtz e do potencial acelerador do feixe. Por meio de botões, o usuário pode comandar o giro dos potenciômetros das fontes de tensão e ajustar os valores de i e U da equação (20) para obter um particular raio de trajetória.



Figura 16: Interface para a realização do experimento remoto em um dispositivo móvel com sistema operacional Android

Na aplicação da metodologia não fizemos uso de dispositivos móveis, uma vez que foi utilizado um laboratório de informática com computadores pessoais conectados à internet. Entretanto, a possibilidade de realizar o experimento nesse tipo de dispositivo aumenta o potencial de acesso ao experimento, especialmente pelo fato de que a maioria dos estudantes possui, atualmente, aparelhos celulares. Do ponto de vista pedagógico, é fundamental oportunizar aos estudantes ambientes que promovam situações de continuidade da construção do conhecimento, mesmo fora do ambiente escolar, para reforçar o hábito de pensar criticamente e as atitudes de observar, questionar e experimentar.

1.3O Ambiente Virtual de Aprendizagem

O Ambiente Virtual de Aprendizagem (AVA) foi desenvolvido para conter materiais instrucionais relacionados à descoberta do elétron e permitir o acesso ao experimento remoto através de uma interface gráfica. Ele pode ser acessado no endereço eletrônico <http://nutec.ufu.br>, a partir de um computador pessoal (PC) ou um dispositivo móvel, com sistema operacional Android.

A proposta metodológica incorporou o AVA, que foi desenvolvido para utilização com o experimento remoto desenvolvido pelo Nutec. Para a construção do AVA foram considerados vários aspectos do ensino investigativo.

Deve-se frisar que não é intenção que o AVA se constitua um ambiente pronto e acabado, mas que sofra adaptações em função das experiências de sua utilização por professores e estudantes. Portanto, enquadra-se na categoria de material em contínuo desenvolvimento.

Para a criação do AVA foram utilizadas diferentes linguagens de programação e de construção do AVA, a saber: (i) HTML com CSS para a interface gráfica entre diferentes subsistemas; (ii) PHP para o processamento lógico das informações propriamente ditas e (iii) tecnologias *ActionScript* e *JavaScript* para a transmissão de imagens e a criação de conteúdos dinâmicos para *Web*. Esses conteúdos são denominados RIA (*Rich Internet Application*), que são Aplicações *Web* que têm características e funcionalidades de software tradicionais do tipo *Desktop*. Essas tecnologias permitem transferir o processamento das informações que seriam executadas na interface para o navegador da internet, porém, mantendo a maior parte dos dados no servidor de aplicação.

Na programação do código computacional foram criados arquivos distintos, obedecendo a padrões computacionais tipicamente empregados na área da Tecnologia da Informação.

A seguir serão descritos os principais elementos presentes neste AVA:

- i. Laboratório (Figura 17): é uma foto panorâmica de 360° de um laboratório de Física, em que uma mesa contém o aparato experimental montado, um livro e um computador e outra mesa contém o aparato experimental desmontado e também um livro e um computador. Quando o usuário clica com o *mouse* sobre a imagem do experimento montado, ele será direcionado para a interface de controle remoto do experimento (Figura 15); quando clica na imagem

do experimento desmontado, ele será direcionado para uma simulação da montagem virtual do aparato experimental (Figura 26); ao clicar no computador, ele será direcionado para a página “Problematizando” (Figura 18) e ao clicar no livro ele irá acessar a página “O Experimento” (Figura 22). O usuário também pode acessar todos os links utilizando um menu disposto do lado esquerdo da tela.



Figura 127: Página contendo uma foto panorâmica de um laboratório de Física com o experimento

O objetivo dessa página é inserir o estudante em um ambiente o mais próximo possível de um laboratório real. A foto é de um laboratório de Física real da UFU. Navegando nessa página ele poderá acessar quase todas as outras páginas do AVA.

ii. Problematizando (Figura 18): essa página contém um material com a intenção de despertar a curiosidade do estudante, no qual ele é levado a pensar

sobre a importância do elétron e sua relação com o cotidiano. Essa página também possui um vídeo com respostas de outras pessoas a uma pergunta feita anteriormente. Essa pergunta tem a pretensão de instigar o aluno e ajudar com que ele perceba que o objeto de estudo possui uma grande atuação no seu cotidiano. Na sequência dessa página, foi disponibilizado um vídeo com algumas curiosidades sobre o elétron e uma pequena história em quadrinhos que brinca com a existência do mesmo (Figura 19). O “Problematizando” é finalizado com uma pergunta, que tem como intuito fazer o aluno perceber a necessidade de adquirir mais conhecimento sobre o assunto.

Figura 18: Primeira página do “Problematizando”

Para a construção das páginas do “Problematizando” houve a preocupação de se contextualizar a problematização para que o AVA tivesse características do ensino investigativo. Todos os elementos criados e inseridos nessa página têm como objetivo instigar o aluno e deixá-lo curioso pelo tema.

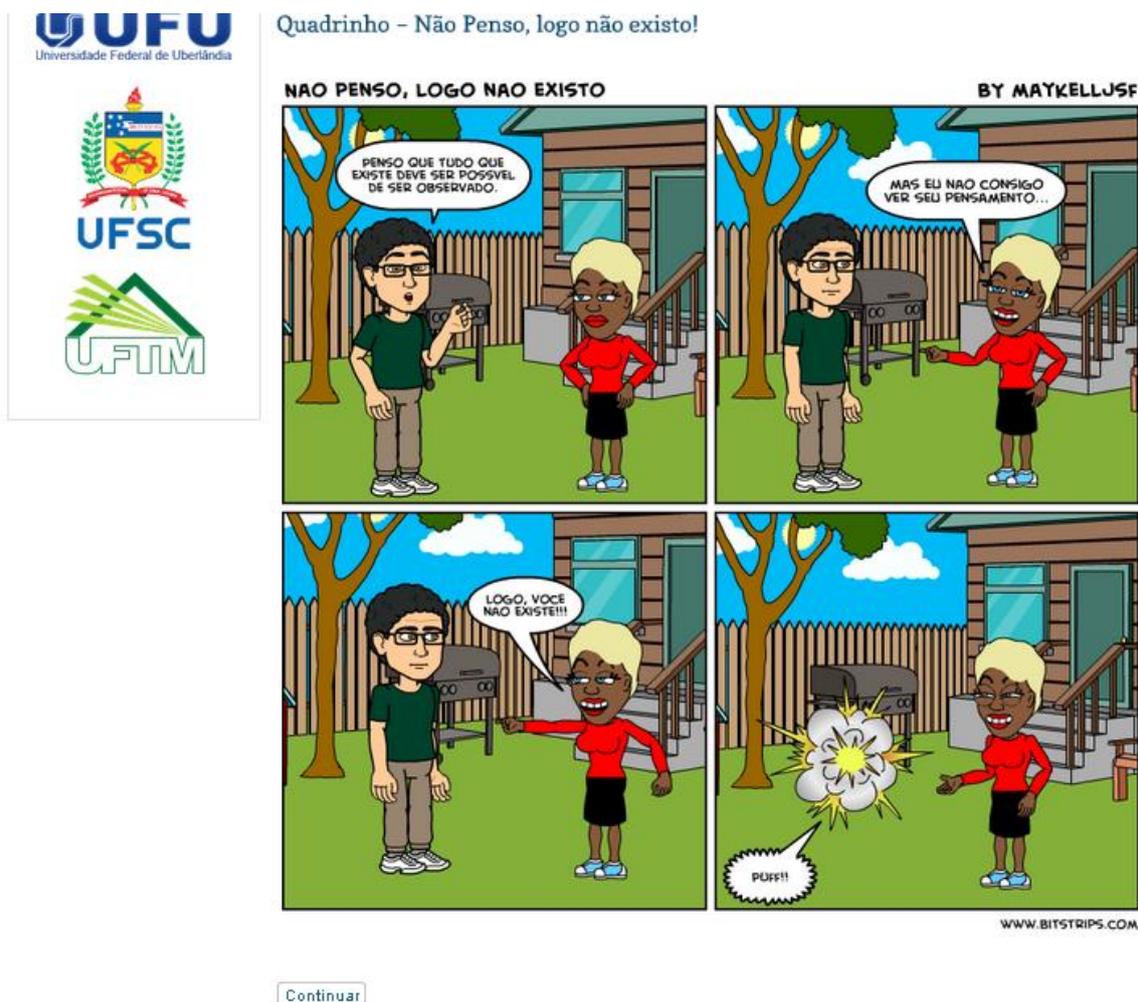


Figura 19: História em Quadrinhos que brinca com a existência do elétron

iii. Linha do Tempo (Figura 20): A linha do tempo permite que o aluno conheça um pouco os principais cientistas envolvidos em atividades de investigação que acabaram contribuindo na verificação da existência do elétron. Suas principais contribuições técnicas e científicas, que culminaram na concepção de Thomson do aparato experimental em questão e na determinação da razão carga/massa do elétron, são apresentadas. Contém hipertextos descrevendo brevemente essas contribuições (Figura 21).

Laboratório

Problematizando

Linha do Tempo

O Experimento

Esquema Elétrico

Monte o experimento

Realize o experimento

Conteúdo

Mundo Virtual 3D

Linha do Tempo

1857 1869 1875 1897

1859 1871 1895 1910

Thomson

É difícil precisar quando uma ideia científica teve origem, pois a construção da Ciência é um processo social, que envolve uma coletividade de cientistas e suas diferentes concepções de mundo.

Assim, o desenvolvimento de um conhecimento científico não ocorre de forma linear, apresenta avanços, retrocessos e abandonos, em função de interesses e possibilidades e de concordâncias ou divergências de ideias.

Portanto, não é possível dizer exatamente algumas evidências históricas que podem ser associadas ao desenvolvimento das concepções nessa direção e é isso que apresentamos nessa Linha do Tempo.

Apenas por uma questão didática e por necessidade de delimitar nossa abordagem, adotamos o trabalho de Gleisser como ponto de partida e os experimentos de Millikan como a etapa final da história do descobrimento do elétron. Mas temos consciência de que, mesmo antes de Gleisser e ainda depois de Millikan, o conceito de elétron esteve sendo construído.

Nesse contexto, o experimento de Thomson é apenas uma das evidências da existência do elétron.

[Continuar](#)

Apoio e Parceiros

Figura 20: Linha do tempo

William Crookes, Sir (1832 – 1919)

Sir William Crookes (1832 – 1919) foi um químico e físico inglês, nascido em Londres, conhecido pela descoberta do elemento tálio, por seu estudo dos "raios catódicos" e por sua pesquisa psíquica aplicada. A partir de 1856, Crookes dedicou-se inteiramente a trabalhos científicos de vários tipos em seu laboratório particular em Londres. Ele construiu dispositivos similares aos tubos de Geissler, chamados de tubos de Crookes (Figura 1), para estudar o comportamento dos "raios catódicos".



Figura 1: Tubo de Crookes

Ele melhorou o vácuo no interior dos tubos e aplicou altas voltagens em suas extremidades,

Figura 21: Um dos quadros sobre os principais cientistas relacionados à descoberta do elétron

A linha do tempo pode auxiliar o estudante a se aproximar do contexto em que o conhecimento científico associado ao tema esteve em evidência³⁹. Dessa forma eles terão a oportunidade de compreender um pouco a natureza da ciência⁴⁰.

iv. O Experimento (Figura 22): Nessa página, há uma imagem do aparato experimental e, ao se clicar em cada equipamento, abre-se uma janela com uma explicação simplificada do mesmo e de sua função para a experiência (Figura 23).

³⁹ PÉREZ, D. G.; CASTRO, P. V. La orientación de las prácticas de laboratorio como investigación: un ejemplo ilustrativo. *Enseñanza de Las Ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, Barcelona, v. 14, n. 2, p.155-164, jan. 1996.

⁴⁰ AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. IN: CARVALHO, A. M. P. (org.). *Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática*. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

Laboratório
Problematizando
Linha do Tempo
O Experimento
Esquema Elétrico
Monte o experimento
Realize o experimento
Conteúdo
Mundo Virtual 3D

Apoio e Parceiros

UFU
Universidade Federal de Uberlândia

UFSC

UFTM

O Experimento

Clique nos elementos do experimento.



Figura 22: Página do “O Experimento”



TUBO DE RAIOS CATÓDICOS

O tubo de raios catódicos do experimento é constituído por uma esfera de vidro e um canhão de elétrons. A esfera de vidro contém gás neon a baixa pressão (aproximadamente $1,28 \times 10^{-5}$ atm) e o canhão de elétrons emite um feixe de elétrons também conhecido por raios catódicos. Esse feixe é acelerado por uma diferença de potencial que pode ser controlada pelo experimentador, pelo ajuste da voltagem de saída de uma fonte de tensão conectada ao canhão de elétrons. Esse tubo é colocado no interior das bobinas de Helmholtz e, durante a realização do experimento, o campo magnético produzido pelas bobinas encurva a trajetória do feixe de elétrons. Dentro da esfera de vidro existe uma escala graduada em 1cm, 2 cm, 3cm, 4cm e 5 cm para determinar o raio da trajetória do feixe. Esses tubos são utilizados, principalmente, em alguns tipos de televisores e monitores de computadores antigos.

Figura 23: Um dos quadros contendo a explicação sobre um dos equipamentos do aparato experimental

Para que o estudante consiga compreender o fenômeno observado, é necessário que ele entenda o funcionamento do aparato experimental. Essa página contém informações que podem auxiliar o estudante a compreender o funcionamento de cada equipamento do aparato experimental, auxiliá-lo a montar o aparato e planejar um roteiro experimental.

v. Esquema Elétrico (Figura 24): O aparato experimental é constituído por dois circuitos e, nessa página, é mostrado um esquema elétrico simplificado de cada circuito. Ao clicar sobre cada componente do circuito, uma janela é aberta, relacionando o componente com o equipamento do aparato, com uma explicação simplificada do equipamento e de sua função para a experiência (Figura 25).

Laboratório
Problematizando
Linha do Tempo
O Experimento
Esquema Elétrico
Monte o experimento
Realize o experimento
Conteúdo
Mundo Virtual 3D

Apoio e Parceiros

UFU
Universidade Federal de Uberlândia

UFSC

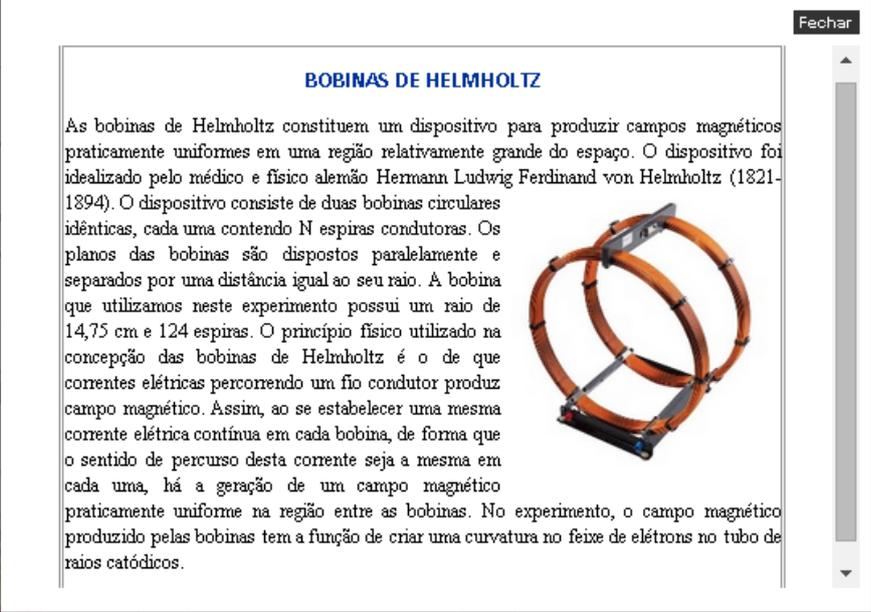
UFTM

Esquema Elétrico da Conexões do Experimento

Clique nos elementos do circuito.

The figure displays two simplified electrical circuit diagrams. The top diagram is a rectangular circuit with a voltmeter (V) at the top, a battery in the middle, and an ammeter (A) at the bottom. The bottom diagram is a rectangular circuit with a battery at the top, an ammeter (A) on the left, and two resistors in series at the bottom, labeled with terminals 1, 2, 3, and 4.

Figura 24: Página contendo o esquema elétrico simplificado do aparato experimental



BOBINAS DE HELMHOLTZ

As bobinas de Helmholtz constituem um dispositivo para produzir campos magnéticos praticamente uniformes em uma região relativamente grande do espaço. O dispositivo foi idealizado pelo médico e físico alemão Hermann Ludwig Ferdinand von Helmholtz (1821-1894). O dispositivo consiste de duas bobinas circulares idênticas, cada uma contendo N espiras condutoras. Os planos das bobinas são dispostos paralelamente e separados por uma distância igual ao seu raio. A bobina que utilizamos neste experimento possui um raio de 14,75 cm e 124 espiras. O princípio físico utilizado na concepção das bobinas de Helmholtz é o de que correntes elétricas percorrendo um fio condutor produz campo magnético. Assim, ao se estabelecer uma mesma corrente elétrica contínua em cada bobina, de forma que o sentido de percurso desta corrente seja a mesma em cada uma, há a geração de um campo magnético praticamente uniforme na região entre as bobinas. No experimento, o campo magnético produzido pelas bobinas tem a função de criar uma curvatura no feixe de elétrons no tubo de raios catódicos.

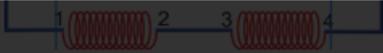


Figura 25: Um dos quadros contendo a explicação sobre um dos equipamentos do aparato experimental

As informações contidas nessa página têm como principal objetivo auxiliar o estudante a compreender os circuitos elétricos que compõem o aparato experimental. Assim, ele poderá entender como são feitas as ligações entre os equipamentos do aparato e relacionar o esquema elétrico utilizado para representar um circuito com o mundo real. Então, o aluno poderá ter condições de realizar a montagem do aparato experimental.

vi. Monte o experimento (Figura 26): Aqui é apresentada uma simulação em que o usuário pode realizar uma montagem virtual do aparato experimental real. O simulador apresenta duas etapas de montagem: uma, relativa à montagem das bobinas de Helmholtz e outra, relacionada à montagem do tubo de raios catódicos. O usuário deve posicionar os equipamentos virtuais sobre a bancada e conectar os fios de forma a obedecer as polaridades das fontes e dos

multímetros em cada etapa da montagem. Em caso de montagem errada, a conexão não é realizada e é recomendado ao estudante o estudo do circuito elétrico correspondente.

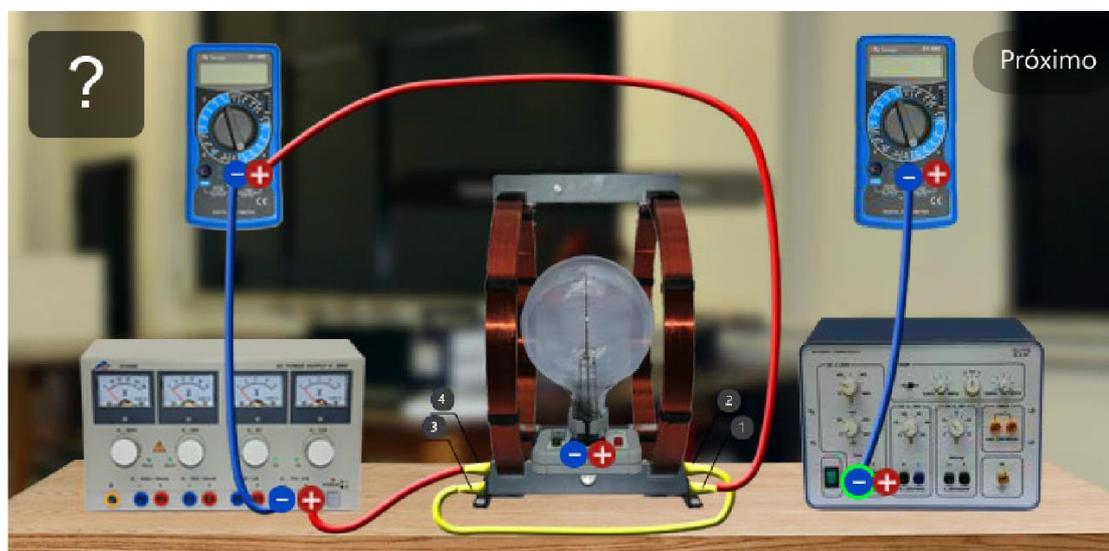


Figura 26: Simulação para a realização da montagem virtual do aparato experimental

A etapa da montagem do aparato experimental representa um importante passo do ensino de práticas investigativas⁴¹, pois o aluno tem a oportunidade de aprender muito conteúdo de Física para realizar a montagem do aparato.

vii. Realize o experimento (Figura 27): É nessa página que o estudante poderá realizar a experiência por meio da interface gráfica do experimento remoto. Ele poderá manipular o experimento real girando os potenciômetros da corrente, da tensão e da colimação do feixe. Os resultados são mostrados nos multímetros, que funcionam como amperímetro e voltímetro. O feixe de elétrons poderá ser visto na câmera que mostra imagens do tubo.

Essa página foi criada com o máximo de realidade para que os usuários tenham a percepção de estarem realizando a experiência no experimento real. Assim, as fontes que aparecem na interface são imagens das fontes do aparato real, os valores que aparecem no multímetro são imagens dos multímetros reais e a imagem do tudo também é real.

O usuário poderá realizar a experiência quantas vezes forem necessárias. Porém, apenas um usuário pode manipular o experimento por vez; os demais

⁴¹ AZEVEDO, M. C. P. S. Ensino por Investigação: problematizando as atividades em sala de aula. IN: CARVALHO, A. M. P. (org.). **Ensino de ciências: unindo a pesquisa e a prática**. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2004.

usuários que estejam acessando a página naquele momento poderão apenas visualizar o que está ocorrendo. Para que outra pessoa consiga realizar a manipulação do aparato é necessário que o usuário atual saia da página, ou que o administrador do sistema altere a permissão de controle do experimento.



Figura 27: Interface gráfica para a realização do experimento remoto

No próximo item será apresentado o planejamento das aulas da proposta metodológica de ensino, com base no ensino investigativo, e como o AVA foi inserido nesse planejamento.

2 A SEQUÊNCIA DE ENSINO INVESTIGATIVO

A proposta da metodologia de ensino, que tem por base o ensino por investigação, não deve ser considerada como uma “receita de bolo”. Ela é um exemplo de uma tentativa de se incorporar aspectos de atividades investigativas para o ensino de uma prática de laboratório remoto.

Os principais objetivos dessa metodologia são: estimular a descoberta autônoma do estudante, a integração de conhecimentos, além de potencializar a dimensão coletiva do trabalho científico e o desenvolvimento do senso crítico nos estudantes. Para isso, foi concebido que o professor deve atuar muito mais como um orientador do que um expositor do conhecimento e promover várias discussões direcionando os estudantes para a busca do conhecimento; o aluno deve buscar o conhecimento com pesquisas (no AVA, por exemplo), estudando e realizando atividades dentro e fora do ambiente escolar; o aluno deve perceber que a construção da ciência não é simples e envolve a participação de vários cientistas, além de ter ciência das consequências do seu desenvolvimento para a sociedade.

A proposta metodológica foi dividida em duas etapas:

- a primeira, tem a intenção de despertar o interesse do estudante e levá-lo a perceber a necessidade de se obter conhecimentos científicos. Essa etapa possui aspectos do ensino por investigação, pois começa com uma problematização contextualizada, envolvendo o cotidiano do aluno; permite o levantamento de hipóteses; discussões; reflexões e incentiva o desenvolvimento da autonomia do estudante com o direcionamento da busca do conhecimento por meio de atividades.
- a segunda, é a realização da atividade experimental remota com uma abordagem diferente da tradicional, sem roteiro predeterminado, com aspectos de uma investigação científica, favorecendo a aprendizagem pela e com a realização da experiência e, também, pela compreensão dos dispositivos e montagem do aparato experimental. Essa parte tem por base o ensino de práticas por investigação, utilizando como ponto de partida outra problematização e permite: o levantamento de

hipóteses, discussões e reflexão; a elaboração do roteiro experimental com discussões entre professor e alunos; a montagem virtual do aparato experimental com reflexões e discussões sobre os dispositivos e suas conexões; a coleta e análise de dados com discussões sobre a relevância desses procedimentos e a elaboração de uma conclusão, com reflexão acerca dos resultados para a sociedade e inovação tecnológica.

A Figura 28 apresenta os passos relevantes da sequência de ensino-aprendizagem, conforme as etapas acima, e relacionadas ao ensino investigativo com o uso da experimentação remota.

O passo a passo da proposta metodológica, a aplicação da sequência didática e os objetivos educacionais pretendidos nessa abordagem foram descritos com maiores detalhes no corpo desta monografia, no Capítulo 4.

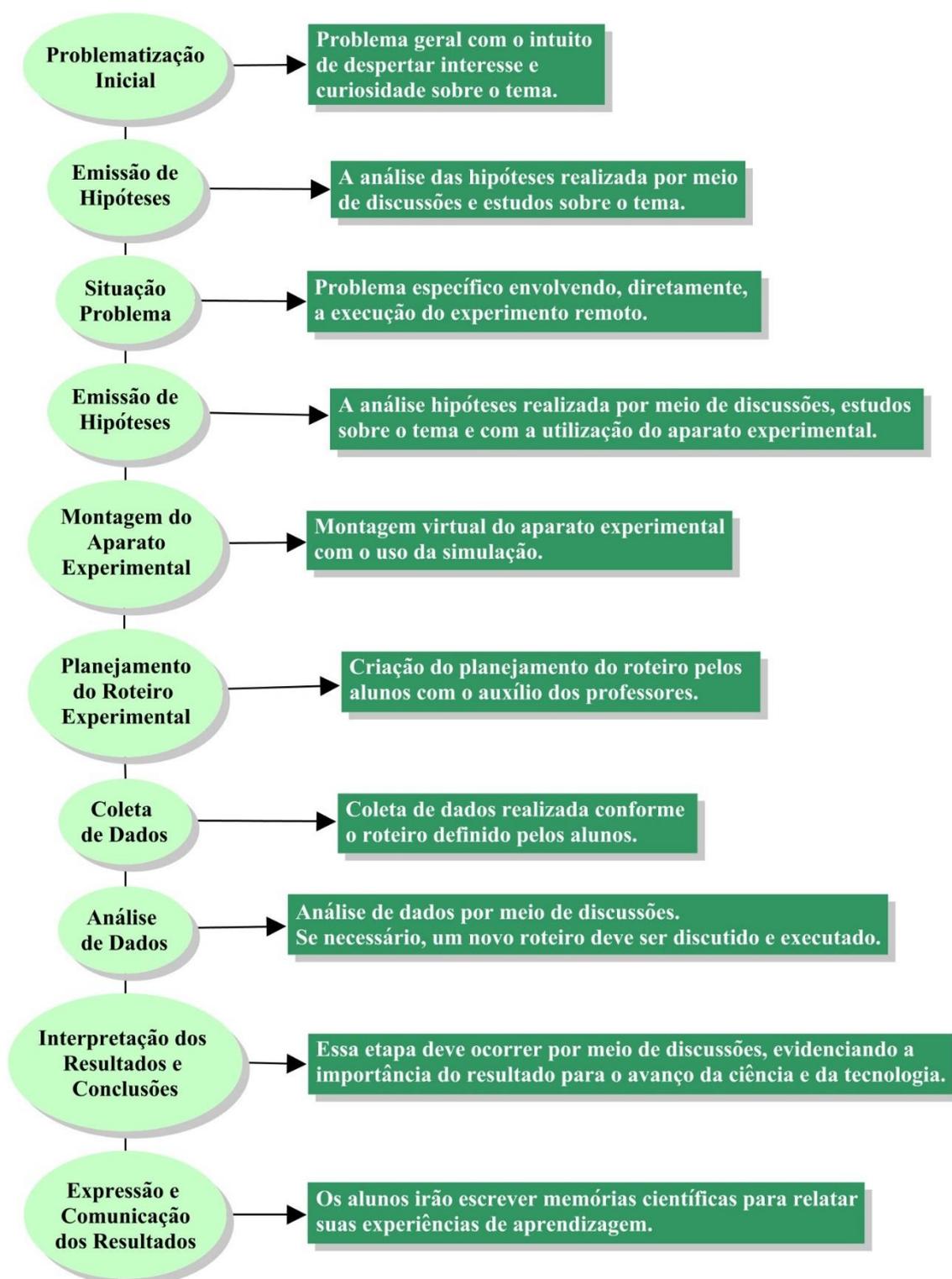


Figura 28: Passos da proposta metodológica com base no ensino por investigação.

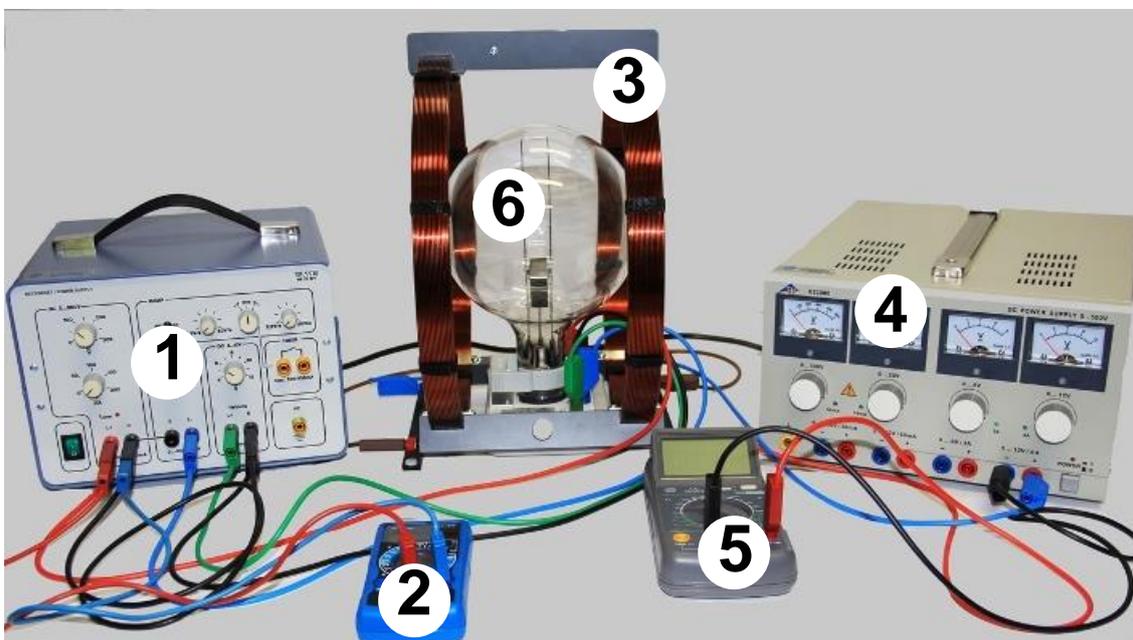
APÊNDICE B – Atividade para reforçar o conhecimento sobre o aparato experimental

Atividade Avaliativa

Aluno:

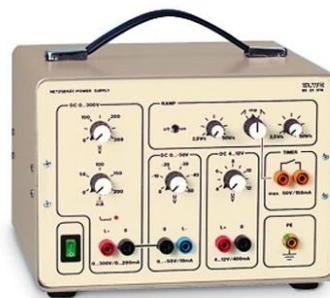
Questão 1

Explique o que é cada equipamento e a função de cada um no experimento:



Equipamento 1

Figuras:



APÊNDICE C – Orientações para a realização das memórias científicas**Memórias Científicas**

Aluno (a): _____

Valor: 5,0 pontos

Escreva uma Redação, **com suas palavras**, contando sobre:

- 1) Como as aulas foram realizadas no laboratório de informática;
- 2) O que aconteceu nas aulas;
- 3) O que você achou sobre as aulas;
- 4) Como foi sua participação nas aulas;
- 5) O que você aprendeu e o que não conseguiu entender nas aulas;
- 6) O que você gostou e o que não gostou nas aulas dadas no laboratório;
- 7) O que você aprendeu sobre Thomson;
- 8) O que Thomson fez para verificar a existência do elétron;
- 9) Como você se sentiu realizando um experimento semelhante ao de Thomson;
- 10) O que você achou de ter verificado a existência do elétron no experimento realizado;
- 11) Como você coletou os dados do experimento;
- 12) O que você fez com os dados coletados no experimento;
- 13) Que resultado você encontrou para a razão carga/massa do elétron;
- 14) O que significou o resultado que você encontrou;
- 15) Qual é a importância do elétron ter sido descoberto;
- 16) Se você achou que essas aulas foram ou não importantes para você e por quê.

OBSERVAÇÃO: A FORMA DEVE SER UMA REDAÇÃO E NÃO NA FORMA DE RESPOSTAS E NÃO FAZER POR TÓPICOS.

ANEXOS

ANEXO A – Planejamento do professor da turma

PLANEJAMENTO ANUAL 2014

Disciplina: Física

Professor: -----

Período: 1º Bimestre

Série: 3º ano do Ensino Médio

Turmas: 3º A e B

Turno: Matutino

Aula 01: Apresentação		Data: 03 de fevereiro
Conteúdo da aula	Apresentação da disciplina e das normas de convivência	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentação do professor e dos objetivos da disciplina. - Momento de apresentação dos alunos - Apresentação do blog - Navegação no blog 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador com acesso à internet - Data show 	

Aula 02: Pré-requisito		Data: 04 de fevereiro
Conteúdo da aula	Notação científica e ordem de grandeza	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Reconhecer quando um número está em notação científica. - Escrever um número qualquer em notação científica. - Identificar qual a ordem de grandeza de um número qualquer. 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Aula expositiva utilizando o recurso multimídia - Discussão sobre a resolução de questões exemplos. - Atividades complementares - Tarefa: resolução de 5 questões que estão postadas no blog 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Data show - Quadro e giz 	

Aula 03: Pré-requisito		Data: 10 de fevereiro
Conteúdo da aula	Resolução das questões deixadas como tarefa	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Reconhecer quando um número está em notação científica. - Escrever um número qualquer em notação científica. - Identificar qual a ordem de grandeza de um número qualquer. 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão de como proceder para colocar um número qualquer em notação científica e como encontrar a ordem de grandeza 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> -Quadro e giz 	

Aula 04: Evolução dos conceitos de eletrostática		Data: 11 de fevereiro
Conteúdo da aula	Apresentação histórica dos conceitos envolvendo eletrostática, dentre eles: <ul style="list-style-type: none"> - A noção de carga elétrica - Isolantes e condutores - Os processos de eletrização 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender que os princípios da eletricidade utilizados hoje, envolveram o trabalho de vários cientistas - Entender as condições históricas e sua relação com o desenvolvimento científico - Compreender a evolução do conceito de carga e ter a noção sobre carga elétrica - Conhecer e compreender os processos de eletrização; 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão de como se desenvolveram as primeiras ideias relacionadas sobre eletricidade na Grécia - Apresentar fatos históricos e sua relação com o pensamento científico 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Data show 	

Aula 05: Evolução dos conceitos de eletrostática (cont.)		Data: 17 de fevereiro
Conteúdo da aula	Apresentação histórica dos conceitos envolvendo eletrostática, dentre eles: <ul style="list-style-type: none"> - Os processos de eletrização - Lei de Coulomb (força elétrica) 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecer e compreender os processos de eletrização; - Compreender a relação de proporcionalidade entre a força elétrica, a distância e as cargas envolvidas. - Identificar as grandezas envolvidas - Usar a Lei de Coulomb 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentação dos fatos históricos e sua relação com o desenvolvimento científico - Discussão da influência de um material eletrizado em outro (neutro ou eletrizado), observando a distância entre um e outro e a quantidade de carga em cada um. 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Data show - Quadro giz 	

Aula 06: Evolução dos conceitos de eletrostática (cont.)		Data: 18 de fevereiro
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Atividades do livro adotado pela escola (Física aula por aula) <ul style="list-style-type: none"> - Pág. 29: Elabore as resoluções, exercícios 2, 3 e 4 - Pág. 34 e 35: Elabore as resoluções, exercícios 1 ao 5 - Pág. 40: Elabore as resoluções, exercícios 1 ao 5 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecer e compreender os processos de eletrização; - Compreender a relação de proporcionalidade entre a força elétrica, a distância e as cargas envolvidas. 	

	<ul style="list-style-type: none"> - Identificar as grandezas envolvidas - Usar a Lei de Coulomb
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Apresentação dos fatos históricos e sua relação com o desenvolvimento científico - Discussão da influência de um material eletrizado em outro (neutro ou eletrizado), observando a distância entre um e outro e a quantidade de carga em cada um.
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Data show - Quadro giz

Aula 07: Evolução dos conceitos de eletrostática (cont.)		Data: 24 de fevereiro
Conteúdo da aula	Discussão e resolução da tarefa.	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Observar o desenvolvimento das habilidades e competências das aulas 04 e 05. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão sobre os procedimentos que devemos ter diante de um problema para identificar as grandezas envolvidas e como aplicar a teoria envolvida para a resolução do mesmo. 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Quadro e giz 	

Aula 08: Campo elétrico		Data: 25 de fevereiro
Conteúdo da aula	<p>Apresentação histórica da evolução das ideias relacionadas ao campo elétrico.</p> <p>Dentre os conteúdos, temos:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analogia entre campo gravitacional e elétrico - Vetor campo elétrico - Linhas de força - Campo elétrico uniforme 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender o campo elétrico - Entender que a existência do campo elétrico depende de uma carga - Compreender a representação do campo elétrico através das linhas de força 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discutir as forças de campo, tentando situar o aluno no período em que ocorreu a consolidação da ideia de campo elétrico. - Comprovar a existência de campo elétrico, utilizando alguns aparatos experimentais. 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Data show - Eletroscópios 	

Aula 09: Revisão para a avaliação 01		Data: 10 de março
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Notação científica e ordem de grandeza - Carga elétrica - Princípios da eletrostática - Processos de eletrização 	

	- Lei de Coulomb
Habilidades/Competências	- Consolidar as habilidades e competências trabalhadas entre as aulas 01 e 07
Metodologias e estratégias	- Discussão do conteúdo através da resolução de situações problemas.
Recursos didáticos	- Quadro e giz

Aula 10: Avaliação 01		Data: 11 de março
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Notação científica e ordem de grandeza - Carga elétrica - Princípios da eletrostática - Processos de eletrização - Lei de Coulomb 	
Habilidades/Competências	- Consolidar as habilidades e competências trabalhadas entre as aulas 01 e 07	
Metodologias e estratégias	- Prova dissertativa individual	

Aula 11: Campo elétrico (cont.)		Data: 17 de março
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Campo elétrico de uma carga puntiforme - Campo elétrico criado por várias cargas puntiformes 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Compreender a representação do campo elétrico através das linhas de força - Identificar as características do vetor campo elétrico 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discutir as forças de campo, tentando situar o aluno no período em que ocorreu a consolidação da ideia de campo elétrico. - Comprovar a existência de campo elétrico utilizando alguns aparatos experimentais. 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Computador - Data show 	

Aula 12: Campo elétrico (cont.)		Data: 18 de março
Conteúdo da aula	Discussão e resolução da tarefa.	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Conhecer o campo elétrico de uma carga puntiforme e o campo elétrico uniforme - Observar o desenvolvimento das habilidades e competências das aulas 07 e 08. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão sobre os procedimentos que devemos ter diante de um problema para identificar as grandezas envolvidas e como aplicar a teoria envolvida para a resolução do mesmo. - Tarefa do livro adotado pela escola (Física aula por aula) <ul style="list-style-type: none"> - Pág. 47: Elabore as resoluções, exercício 1 - Pág. 48: Elabore as resoluções, exercícios 2 e 4 - Pág. 48: Elabore em casa, exercícios 1 e 2 - Pág. 52: Elabore as resoluções, exercícios 2, 3, 4, 5 e 6 	

	- Pág. 57: Elabore as resoluções, exercícios 1 ao 5 - Iniciar a tarefa em sala e concluir em casa.
Recursos didáticos	- Quadro e giz

Aula 13: Campo elétrico (cont.)		Data: 24 de março
Conteúdo da aula	Discussão e resolução da tarefa.	
Habilidades/Competências	- Observar o desenvolvimento das habilidades e competências das aulas 07 e 08. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos.	
Metodologias e estratégias	- Discussão sobre os procedimentos que devemos ter diante de um problema para identificar as grandezas envolvidas e como aplicar a teoria envolvida para a resolução do mesmo.	
Recursos didáticos	- Quadro e giz	

Aula 14: Potencial		Data: 25 de março
Conteúdo da aula	- Potencial elétrico - Energia potencial elétrica - Potencial de uma carga puntiforme - Propriedades do potencial	
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 15: Potencial elétrico (cont.)		Data: 31 de março
Conteúdo da aula	- Gráfico do potencial em função da distância - Potencial criado por várias cargas - Diferença de potencial ou tensão	
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 16: Revisão para o simulado		Data: 01 de abril
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias	- Discussão do conteúdo através da resolução de situações problemas.	
Recursos didáticos	- Quadro e giz	

Aula 17: Potencial elétrico (cont.)		Data: 07 de abril
Conteúdo da aula	- Atividades do livro adotado pela escola (Física aula por aula) - Pág. 63: Elabore as resoluções, exercícios 1, 3 e 4 - Pág. 64: Elabore as resoluções, exercício 7 - Pág. 64: Elabore em casa, exercícios 1 e 2	
Habilidades/Competências	- Observar o desenvolvimento das habilidades e competências das aulas 13, 16 e 17. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos.	
Metodologias e estratégias	- Discussão sobre os procedimentos que devemos ter diante de um problema para identificar as grandezas envolvidas e como aplicar a teoria envolvida para a resolução do mesmo.	
Recursos didáticos		

Aula 18: Aula 01 – Projeto		Data: 08 de abril
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Disciplina: Física**Professor:** Professor da Disciplina**Período:** 2º Bimestre**Série:** 3º ano do Ensino Médio**Turmas:** 3º A e B**Turno:** Matutino

Aula 19: Aula emprestada para a professora de Biologia.		Data: 14 de abril
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 20: Aula 02 – Projeto		Data: 15 de abril
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 21: Potencial elétrico		Data: 22 de abril
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Atividades do livro adotado pela escola (Física aula por aula) - Pág. 63: Elabore as resoluções, exercícios 1, 3 e 4 - Pág. 64: Elabore as resoluções, exercício 7 - Pág. 64: Elabore em casa, exercícios 1 e 2 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Observar o desenvolvimento das habilidades e competências das aulas 13, 16 e 17. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. 	
Metodologias e estratégias	- Discussão sobre os procedimentos que devemos ter diante de um problema para identificar as grandezas envolvidas e como aplicar a teoria envolvida para a resolução do mesmo.	
Recursos didáticos		

Aula 22: Aula 03 – Projeto		Data: 28 de abril
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 23: Potencial elétrico (cont.)		Data: 29 de abril
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamento de uma carga elétrica abandonada no campo elétrico - Superfícies equipotenciais 	
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 24: Eletrodinâmica: corrente elétrica		Data: 05 de maio
Conteúdo da aula	<p>Corrente elétrica</p> <ul style="list-style-type: none"> - Definição de corrente elétrica - Sentido da corrente elétrica - Tipos de corrente elétrica - Efeitos da corrente elétrica - Intensidade da corrente elétrica 	
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 25: Aula 04 – Projeto		Data: 06 de maio
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 26: Revisão para avaliação 01		Data: 12 de maio
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Potencial elétrico - Energia potencial elétrica - Potencial de uma carga puntiforme - Propriedades do potencial - Gráfico do potencial em função da distância - Potencial criado por várias cargas - Diferença de potencial ou tensão - Comportamento de uma carga elétrica abandonada no campo elétrico - Superfícies equipotenciais 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Observar o desenvolvimento das habilidades e competências das aulas 13, 16 e 17. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão do conteúdo através da resolução de situações problemas. 	
Recursos didáticos	<ul style="list-style-type: none"> - Quadro e giz. 	

Aula 27: Avaliação 01		Data: 13 de maio
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 28: Eletrodinâmica: corrente elétrica (cont.)		Data: 19 de maio
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Atividades do livro adotado pela escola (Física aula por aula) <ul style="list-style-type: none"> - Pág. 95: Elabore as resoluções, exercícios 1 ao 4 - Pág. 96: Elabore as resoluções, exercícios 5 e 6 	
Habilidades/Competências	<ul style="list-style-type: none"> - Observar o desenvolvimento das habilidades e competências da aula 23. - Compreender enunciados que envolvam códigos e símbolos físicos. 	
Metodologias e estratégias	<ul style="list-style-type: none"> - Discussão sobre os procedimentos que devemos ter diante de um problema para identificar 	

	as grandezas envolvidas e como aplicar a teoria envolvida para a resolução do mesmo.
Recursos didáticos	- Quadro e giz

Aula 29: Aula 05 – Projeto		Data: 20 de maio
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 30: Eletrodinâmica: Circuitos elétricos		Data: 26 de maio
Conteúdo da aula	<ul style="list-style-type: none"> - Definição de circuito elétrico - Elementos pertencentes a um circuito elétrico 	
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 31: Eletrodinâmica: Leis de Ohm		Data: 27 de maio
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 32: Aula 06 – Projeto		Data: 02 de junho
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		
Metodologias e estratégias		
Recursos didáticos		

Aula 33: Aula 07 – Projeto		Data: 03 de junho
Conteúdo da aula		
Habilidades/Competências		

Metodologias e estratégias	
Recursos didáticos	

Aula 34: Eletrodinâmica: associação de resistores	Data: 09 de junho
Conteúdo da aula	
Habilidades/Competências	
Metodologias e estratégias	
Recursos didáticos	

Aula 35: <i>Aulas 08 e 09 – Projeto (aula dupla manhã)</i>	Data: 10 de junho
Conteúdo da aula	
Habilidades/Competências	
Metodologias e estratégias	
Recursos didáticos	

Aula 36: <i>Aulas 10 e 11 – Projeto (aula dupla tarde)</i>	Data: 10 de junho
Conteúdo da aula	
Habilidades/Competências	
Metodologias e estratégias	
Recursos didáticos	

