



ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO E A APRENDIZAGEM  
COLABORATIVA: O MAPEAMENTO DAS LINHAS DE CAMPO COMO  
ELEMENTO DE PROBLEMATIZAÇÃO

ROBSON VIEIRA

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientadores:  
Flavio Napole Rodrigues  
Roberto Soares da Cruz Hastenreiter

Rio de Janeiro  
Nov/2018

ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO E A APRENDIZAGEM  
COLABORATIVA: O MAPEAMENTO DAS LINHAS DE CAMPO COMO  
ELEMENTO DE PROBLEMATIZAÇÃO

ROBSON VIEIRA

Orientadores:  
Flavio Napole Rodrigues  
Roberto Soares da Cruz Hastenreiter

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

Aprovada por:

---

Dr. Flávio Napole Rodrigues

---

Dr. Antônio Carlos Fontes dos Santos

---

Dr. Eduardo Lima Rodrigues

Rio de Janeiro  
2018

## FICHA CATALOGRÁFICA

2018 Vieira, Robson  
Ensino de Física por Investigação e a Aprendizagem Colaborativa: O Mapeamento das Linhas de Campo como elemento de problematização /Robson Vieira - Rio de Janeiro: UNIRIO / IBIO, 2018.  
Número de seções, Número de páginas; dimensões da encadernação.  
Orientadores: Flávio Napole Rodrigues, Roberto Soares da Cruz Hastenreiter  
Dissertação (mestrado) – UNIRIO / Instituto de Biociências / Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, ano da publicação.  
Referências Bibliográficas: páginas inicial e final.  
1. Ensino de Física. 2. Aprendizagem Colaborativa. 3. Ensino por Investigação.  
I. Flavio Napole Rodrigues; Roberto Soares da Cruz Hastenreiter  
II. Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Instituto de Biociências, Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física.  
III. Ensino de Física por Investigação e a Aprendizagem Colaborativa: O Mapeamento das Linhas de Campo como elemento de problematização

\*Código da obra (fornecido pela biblioteca)

Consultar: <http://www.biblioteca.unirio.br/servicos-1/fichas-catalograficas>

Dedico esta dissertação aos meus pais, Luzia de Andrade Vieira e Marciano Vieira (*in memoriam*), que não mediram esforços para que eu pudesse alcançar os objetivos traçados para a minha vida. Mesmo diante de todas as dificuldades que se apresentaram, meus pais foram essenciais para que esse momento pudesse acontecer.

## **Agradecimentos**

Agradeço

aos meus pais, Marciano Vieira (*in memoriam*) e Luzia de Andrade Vieira, se não fosse a educação que me proporcionaram, não seria possível chegar até essa fase de minha vida.

Aos meus irmãos: Paulo Vieira, Marlene Vieira, Marli Vieira, Iracilda Vieira, Rosemere Vieira e Márcia Vieira, que foram extremamente essenciais em todos os momentos da minha vida, inclusive nesse tão importante.

Aos meus filhos: Lucas Bastos Vieira, João Marcos Bastos Vieira e Thársila Bastos Vieira, que foram a mola propulsora para a continuidade de meus estudos e, hoje, só me dão orgulho.

Ao Dr. Flávio Napole Rodrigues, meu orientador, pelas contribuições neste trabalho.

Ao Dr. Roberto Soares da Cruz Hastenreiter, meu co-orientador, que foi essencial para o êxito deste trabalho, além de contribuir, com extrema maestria, no trabalho apresentado no XVII Encontro de Pesquisas em Ensino de Física.

À Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro pelo ambiente rico em debates e aprendizado significativo.

Ao Serviço Social da Indústria do Rio de Janeiro, especificamente à Escola SESI do Maracanã, pela possibilidade de utilizar espaços, materiais e contribuir com a pesquisa em ensino de Física.

Aos meus alunos da Escola SESI do Maracanã, em 2017, sem os quais seria impossível apresentar essa bela contribuição ao Ensino da Física no Brasil.

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio de Janeiro, pelos espaços disponibilizados para realização das atividades experimentais.

Aos meus companheiros do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (Turma 2016), Polo UNIRIO, que proporcionaram momentos inesquecíveis de aprendizado e amizade, que certamente levarei para sempre em meu coração.

## RESUMO

### ENSINO DE FÍSICA POR INVESTIGAÇÃO E A APRENDIZAGEM COLABORATIVA: O MAPEAMENTO DAS LINHAS DE CAMPO COMO ELEMENTO DE PROBLEMATIZAÇÃO

Robson Vieira

Orientador(es):

Flavio Napole Rodrigues

Roberto Soares da Cruz Hastenreiter

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física da UNIRIO (MNPEF), como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física

A relação entre Atividades Experimentais (AE) e a aprendizagem de conceitos físicos tem ganhado cada vez mais espaço nas pesquisas em Ensino de Física. O presente trabalho se insere no referido contexto e busca contribuir com reflexões a esse respeito. Fundamentalmente, apresentamos uma proposta metodológica para a construção de atividades que coloquem os alunos em posição ativa na resolução de situações problema, baseada no Ensino por Investigação (EI). Como ensaio empírico, propomos a realização de um experimento de baixo custo que apresenta conceitos de eletricidade como o campo elétrico e o potencial elétrico. A referida atividade foi aplicada em três turmas, correspondente a um total de 70 alunos, de Ensino Técnico Integrado ao Ensino Médio de uma instituição privada de ensino. Os alunos trabalharam em grupos e as atividades foram pensadas de forma que as questões levantadas permitissem a eles: elaborar o plano de trabalho; levantar hipóteses e discuti-las no âmbito do grupo, e em seguida com toda a turma; e sistematizar seus modelos explicativos. Foram registrados em áudio os diálogos internos aos grupos, assim como a discussão entre os grupos. Os diálogos transcritos foram categorizados, e em seguida analisados a partir da análise de conteúdo. Como resultado apresentamos a elaboração de 12 categorias distribuídas em três dimensões (conceitual, epistemológica e interação social), assim como buscamos analisar de que forma as referidas categorias podem evidenciar práticas epistêmicas.

Palavras-chave: Ensino de Física, Aprendizagem Colaborativa, Ensino por Investigação.

Rio de Janeiro  
Novembro/2018

## **ABSTRACT**

### **INQUIRY – BASED TEACHING AND COLLABORATIVE LEARNING: THE MAPPING OF THE FIELD LINES AS A PROBLEMATIZATION ELEMENT**

Robson Vieira

Supervisor(s):

Flavio Napole Rodrigues

Roberto Soares da Cruz Hastenreiter

Abstract of master's thesis submitted to Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da UNIRIO no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física (MNPEF), in partial fulfillment of the requirements for the degree Mestre em Ensino de Física.

The relationship between Experimental Activities (EA) and the physics concepts learning has been more and more present in Physics Teaching researches. The present work is inserted in this context and aims to contribute with some reflections.

In addition to the conceptual dimension, we expected that the experimental activities incorporate the epistemological and social dimensions. Fundamentally, we present a methodological proposal for the construction of activities that put the students in active position in the resolution of problem-based situations, based in the inquiry based-teaching. As an empirical study, we propose to perform a low-cost experiment that presents concepts of electricity such as the electric field and the electric potential. This activity was carried out in three classes, corresponding to a total of 70 students, from a private Vocation-Technical School. The students worked together and the activities were designed in such a way that the issues raised allowed them: to elaborate the work plan; hypothesis formulation and discuss them within the group and then with the whole class; and systematize their explanatory models. The dialogues into the groups were recorded in audio, as well as the discussion between the groups. The transcribed dialogues were categorized, and then analyzed from the content analysis. Finally we present the formulation of 12 categories allocated into three dimensional (conceptual, epistemological and social interaction), and how this categories evidence epistemic practices.

Keywords: Physics education, Collaborative Learning, Inquiry-based Teaching.

Rio de Janeiro  
November/2018

## Sumário

APRESENTAÇÃO.....	1
Capítulo 1 INTRODUÇÃO.....	3
Capítulo 2 ESTUDOS RELACIONADOS.....	6
Capítulo 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	9
3.1 As teorias baseadas em Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal...9	
3.2 Aprendizagem Colaborativa.....10	
3.3 Ensino por Investigação.....12	
Capítulo 4 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA.....	14
4.1 Contexto da aplicação da proposta e descrição das turmas.....14	
4.2 Descrição da proposta.....15	
4.2.1 Metodologia da aplicação.....15	
4.2.2 Construção dos dados.....18	
4.2.3 Implementação da proposta.....18	
4.2.3.1 Ação Mediada e Ação à Distância.....19	
4.2.3.2 Caracterização do Campo Elétrico entre placas paralelas19	
4.2.3.3 Apresentação da proposta experimental aos alunos.....23	
Capítulo 5 RESULTADOS.....	32
5.1 Construção dos dados e categorização.....32	
5.2 Análise dos dados.....33	
Capítulo 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	36
Referências Bibliográficas.....	37

## APRESENTAÇÃO

Esta pesquisa nasceu com o intuito de contribuir com a prática docente, ao se pensar em estratégias que possibilitem a potencialização da aprendizagem de conceitos físicos, principalmente aqueles considerados de maiores dificuldades no âmbito do ensino-aprendizagem.

Decidi me tornar professor de Física, numa escola preparatória para a carreira militar. Até a formação na Universidade Federal do Rio de Janeiro, surgiu um novo interesse: a pesquisa acadêmica. No decorrer da graduação, com a oportunidade de estagiar em sala de aula e, concomitantemente, na iniciação científica, na área de Física Aplicada, no Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, foi possível perceber o quanto era importante, para mim, desenvolver o pensamento científico dos alunos como estratégia para facilitar o processo de ensino-aprendizagem. Ao mesmo tempo que, também fosse possível desenvolver a criticidade e argumentação dos alunos no ensino de física. O enfoque puramente matemático dado à disciplina era, e continua sendo, algo muito comum, infelizmente, no ensino da Física.

Após a graduação, segui participando de programas que tinham o foco em formação de professores de escolas públicas, em diferentes regiões do Brasil. Esta experiência me possibilitou uma aproximação a metodologias com abordagem no ensino por investigação (EI). A partir de então, foi necessário aprofundar os meus conhecimentos a respeito desta abordagem, e desenvolver ações didáticas que permitissem reavaliar questões levantadas desde a época da graduação. Quando retomei as atividades docentes deparei-me com uma realidade inusitada e desafiadora, a saber: atuar como professor da educação de jovens e adultos em classes multisseriadas, em comunidades em vulnerabilidade social, no Rio de Janeiro. Foi assim que, com o intuito de facilitar a aprendizagem de alunos, de diferentes faixas etárias, e, sobretudo em diferentes níveis escolares, desenvolvi um trabalho que abordava conceitos de física no contexto da realidade desses estudantes, por meio de atividades problematizadoras. Este trabalho apresentou desdobramentos acadêmicos, tornando-se tema central da monografia defendida no programa de pós-graduação lato sensu para a obtenção do grau de especialista em Metodologia de Ensino de Ciências da Natureza. Destaca-se também a apresentação e

publicação nos anais do III Congresso Nacional de Educação (CONEDU) do trabalho intitulado “Estudo do conceito de eletricidade em classe multisseriada nas comunidades Babilônia e Chapéu Mangueira, na Cidade do Rio de Janeiro”. (III CONEDU, 2016)

Portanto, a presente dissertação é a continuidade de meu processo formativo. A aproximação com referenciais teóricos e metodológicos, resultado do contato com disciplinas cursadas no Programa Nacional de Pós-Graduação em Ensino de Física trouxeram ampliação nas reflexões já existentes, e contribuíram para o desenho do quadro metodológico presente.

Recentemente apresentei parte da pesquisa desenvolvida nessa dissertação no XVII Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, em Campos do Jordão no dia 30 de agosto do corrente ano.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Como revela o Programa Internacional de Avaliação de Alunos (PISA<sup>1</sup>) no ano de 2015, no Brasil o ensino de ciências da natureza não tem alcançado um nível qualificado, com 401 pontos. O país ocupa a 63<sup>a</sup> posição, dentre os 72 participantes, e, quase 100 pontos abaixo da média dos países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico), que é de 493 (INEP, 2016). Diante dessa situação, a construção de uma educação de qualidade é um desafio para se buscar a transformação do ensino de ciências nas escolas brasileiras. Assim, o presente trabalho, ligado a temática “Ensino de Física” e “Aprendizagem Colaborativa”, visa contribuir para o entendimento da seguinte questão: como a colaboração entre os pares, aluno-aluno e aluno-professor, através de uma proposta de atividade experimental investigativa, de eletrostática, pode auxiliar na compreensão de conceitos físicos de alto grau de abstração?

Tendo a consciência das diferentes alternativas metodológicas, ao longo do desenvolvimento desta pesquisa adotou-se a abordagem do ensino por investigação, com o objetivo geral de desvelar as contribuições desta estratégia na articulação de conhecimentos teóricos e práticos, relacionados ao tema Eletricidade, e na construção de relações colaborativas, entre pares distintos, que favoreçam um ensino investigativo por alunos da 3<sup>a</sup> série do Ensino Médio. À vista disso, será necessário considerar e enfrentar algumas questões: 1) De que forma as situações-problemas, proposta do ensino por investigação, podem favorecer a interdependência dos componentes dos grupos de trabalho? 2) Quais as contribuições do ensino por investigação para a aprendizagem colaborativa, nos grupos de trabalho?

A temática escolhida foi Eletricidade, especificamente eletrostática, pois conforme advoga Dornelles et al (2006), é uma das áreas da Física que tem o maior número de estudos relacionados a dificuldades de aprendizagem. Para os autores, nestes estudos estão incluídas as concepções alternativas,

---

<sup>1</sup> Mais informações em: <http://portal.mec.gov.br/component/tags/tag/33571> acessado em 19/11/2018

complicações conceituais, o uso de linguagem inapropriada e raciocínios errôneos, os quais os alunos apresentam.

Dentro da Eletrostática optou-se por trabalhar o conceito de Campo Elétrico. Segundo Rocha (2009), o ensino de campo elétrico, muitas das vezes, fica resumido a uma abordagem matemático-conceitual, não explorando toda sua potencialidade. É uma questão fundamental da Física entender como os corpos agem uns sobre os outros (TORT et al. 2004). Apresentar o conceito de campo elétrico numa visão mais abrangente, não reducionista, é uma das propostas deste trabalho.

Muitos são os estudos que apresentam novas metodologias aplicadas ao Ensino de Física (e.g. SUART *et al.* 2010, ZÔMPERO e LABURU 2011, KRUMMENAUER et al. 2010, DE ARAÚJO e FORMENTON 2012 e WILSEK e TOSIN 2012), que possibilitam a transformação da sala de aula em um ambiente de investigação para a aprendizagem contínua, proporcionando a melhoria da qualidade do ensino formal e permitindo que os alunos se tornem partícipes de sua aprendizagem. Entretanto, por mais que haja muito conhecimento produzido relacionado a métodos, técnicas e estratégias de ensino em ciências, existem debilidades em torno da transferência do conhecimento produzido pela pesquisa em educação em ciências à sala de aula (MOREIRA, 2004). Por esse motivo, um dos propósitos desta dissertação é sugerir uma proposta de atividade experimental para o ensino de física.

Contudo, é certo que apenas o desenvolvimento instrucional, a produção de equipamentos educativos para laboratório ou eletrônicos, além de outros materiais didáticos, não necessariamente contribuem para o avanço do conhecimento em ensino de ciências (MOREIRA *op. cit.*). Nesse sentido, esta pesquisa também busca favorecer uma reflexão sobre o processo ensino-aprendizagem a partir de uma perspectiva de ensino investigativo com enfoque na colaboração.

Os capítulos desta dissertação estão organizados de forma que o Capítulo 2 aborda estudos relacionados, em uma concisa revisão de literatura, a respeito de propostas metodológicas no ensino de Física em nível médio. O referencial teórico e metodológico que embasam esta pesquisa serão apresentados, respectivamente, nos capítulos 3 e 4.

Os resultados, incluindo uma descrição detalhada da implementação da proposta nas turmas de 3ª série do Ensino Médio, seguido de sua discussão serão igualmente retratados nos capítulos 5 e 6. Por fim, no capítulo 7 serão apresentadas as conclusões e considerações finais.

O produto deste trabalho será disponibilizado para o acesso livre de professores e licenciandos, assim como, também estará documentado entre os apêndices desta dissertação.

Como esta pesquisa científica envolve seres humanos, ela foi submetida ao Conselho de Ética da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro (UNIRIO), registro CAAE: 78575417.5.0000.5285, uma vez que é necessário verificar se o mesmo está em consonância com a Resolução 466/12 do Conselho Nacional de Saúde (CNS). O Projeto de Pesquisa foi considerado relevante pelo Comitê de Ética da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, conforme parecer consubstanciado número 2.499.719.

## CAPÍTULO 2

### ESTUDOS RELACIONADOS

No ensino da Física, em escolas de nível médio, há esforços para que os alunos aprendam a resolver problemas, analisar informações e tomar decisões – o que significa desenvolver competências que possam prepará-los para a vida (INEP, 2007). Dentre esses esforços encontram-se as práticas em laboratório, as quais são realizadas por professores sob a alegação de que servem para motivar os alunos, demonstrar e comprovar teorias dadas em aula, além de desenvolver habilidades manipulativas (HODSON 1994; 2005; DE LIMA 2004). No entanto, geralmente, como observado por Zanon e Silva (2000), nestas atividades não são estabelecidas relações entre a teoria e a prática em laboratório. A sobrecarga de conceitos e o uso de linguagem puramente técnica (INSAUSTI, 1997) faz com que os alunos não entendam o porquê de sua utilização (ZANON e SILVA, *op. cit.*).

Com o intuito de articular a teoria e a prática e, possivelmente, favorecer uma aprendizagem colaborativa, a investigação deve ser fundamentada e fazer sentido para o aluno, ou seja, ele deve saber porque está investigando o fenômeno apresentado. Aprender procedimentos e atitudes, dentro do processo de aprendizagem, se torna tão importante quando a aprendizagem de conteúdos e conceitos (AZEVEDO, 2004).

Nas dissertações desenvolvidas no Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física, encontram-se diversos exemplos de propostas metodológicas para o ensino de Física na educação básica.

Em uma proposta metodológica destinada ao ensino de Física no 9º ano do Ensino Fundamental, centrada em situações-problema, Pasqualetto (2011) destaca a importância de se dar autonomia aos grupos de alunos envolvidos nas atividades, com a finalidade, bem-sucedida, de lhes favorecer a independência e fomentar a colaboração.

Com uma experiência didática apoiada na perspectiva metodológica e pedagógica do ensino por projetos, que introduz a Física no 9º ano do ensino fundamental, Barp (2016) verifica como os alunos são instigados à pesquisa e ao desenvolvimento da aprendizagem em um ambiente totalmente colaborativo,

onde professores e alunos, além de alunos e alunos, interagem de forma a construir conhecimento significativo.

Sestari (2012) propõe um conjunto de metodologias balizadas, principalmente, por projetos, atividades experimentais e mapas conceituais. Tudo fundamentado na valorização das trocas entre discentes e entre discente/docente com o intuito de possibilitar um ambiente em que seja possível a aprendizagem significativa dos conceitos de Física apresentados.

Da Silva (2015) apresenta uma metodologia elaborada a partir da aplicação de pré-teste, com a finalidade de levantar os conhecimentos prévios dos alunos, para se elaborar um plano de aula para o ensino das Leis de Newton com enfoque na lei da Inércia. Os resultados da implementação mostram a ocorrência de indicadores positivos quanto à aprendizagem dos conceitos abordados.

Uma proposta metodológica baseada no uso de esquemas conceituais, no ensino de conceitos de eletrodinâmica, mostrou-se bastante promissor no que tange a inovar o processo de ensino-aprendizagem e avaliação. A intenção de trabalhos como este é fomentar estratégias inovadoras em sala de aula que possibilitem um ambiente de aprendizagem significativa (MÜLLER, 2014).

A partir do uso de um chuveiro elétrico como gerador de situações-problema, Teixeira (2016) propõe uma sequência didática sob o formato de Unidade de Ensino Potencialmente Significativa a fim de explorar os conceitos de corrente elétrica, diferença de potencial, potência elétrica e efeito Joule. Os resultados apresentados ressaltaram a motivação dos alunos na participação das atividades, assim como entender a relevância de se usar elementos do cotidiano nas aulas.

Em uma proposta cuja atividade principal dos alunos é desenvolver um trabalho sobre instalações elétricas residenciais, Latosinski (2013) utiliza no desenvolvimento das atividades um simulador Java, disponível na internet, sobre circuitos elétricos. O autor ressalta que essa abordagem da Física despertou o interesse dos alunos promovendo maior participação nas aulas e permitindo a construção de relações dos conteúdos estudados em sala de aula com as suas aplicações junto a sua área técnica, uma vez que pertenciam ao curso técnico de informática.

Apresentando uma proposta de ensino de Física aplicada a adolescentes trabalhadores, vinculados ao Programa Adolescente Aprendiz, Dos Reis (2014) com o propósito de favorecer uma maior motivação e interação nas turmas, utiliza a estratégia de pequenos projetos didáticos com a finalidade de contextualizar a Física. O autor utilizou questões diversas baseadas no filme *Sonhos no Gelo*, relacionando-as à Copa do Mundo de 2014, assim como questões derivadas da curiosidade dos alunos. Os resultados deste trabalho mostraram a importância da diversidade de metodologias que podem ser apresentadas em sala de aula. A intenção é que os alunos se tornem protagonistas de sua aprendizagem, ao invés de meros ouvintes.

Ao desenvolver uma proposta pautada em Ambientes Virtuais de Aprendizagem (AVA), Barcellos (2014) usa a estratégia para abordar os conceitos de Energia Elétrica e Potência Elétrica bem como as suas relações com Tensão, Corrente e Resistência Elétricas. O autor ressalta, nos resultados do trabalho, que o ponto forte da proposta consiste na interação dos alunos com um Objeto Digital de Aprendizagem (ODA), e que nesse caso é possível observar a evolução cognitiva. O referido trabalho também destaca que é possível utilizar o ODA separadamente ou em conjunto com outras propostas metodológicas, ampliando as possibilidades do docente em sala de aula.

## **CAPÍTULO 3**

### **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

#### **3.1 As teorias baseadas em Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal**

Esta pesquisa se baseia nas teorias histórico-social e sociocultural que, de acordo com Libâneo (2005), são baseadas nos trabalhos de Vygotsky e seus seguidores. Na orientação histórico-social a aprendizagem é resultante da interação sujeito-objeto, onde a ação do sujeito é socialmente mediada dando ênfase à cultura e às relações sociais. Supõe-se, nesse caso, uma ação entre sujeitos, uma relação de parceria. Assim, as funções mentais superiores (linguagem, memória, abstração, capacidade de comparar, diferenciar etc.) são ações interiorizadas a partir de algo socialmente mediado.

A orientação sociocultural se preocupa em explicar a atividade humana enquanto processo e resultado oriundo das vivências em atividades compartilhadas. Assim, de acordo com essa teoria, as práticas de aprendizagem acontecem sempre em um contexto de cultura, de relações e de conhecimento (LIBÂNEO, op. cit.).

De acordo com Vygotsky, o desenvolvimento humano se dá em relação às trocas entre parceiros sociais, através de processos de interação e mediação (RABELO e PASSOS, 2010). A aquisição de conhecimentos se dá pela interação do sujeito com o meio (cultura, sociedade, práticas e interação). O sujeito é interativo, adquire conhecimentos a partir das relações intrapessoais e interpessoais e de troca com o meio, a partir da mediação. Vygotsky percebeu que a interação é mediada por várias relações, contrariando o construtivismo, no qual o indivíduo age diretamente com o objeto (MAGALHÃES, 2007).

O termo Zona de Desenvolvimento Proximal é, possivelmente, uma das ideias mais difundidas e conhecidas de Vygotsky. Amplamente utilizado em pesquisas educacionais, em estudos sobre ensino e aprendizagem de muitas áreas do conhecimento, das quais, destaca-se: matemática, leitura, ciências e escrita (CHAIKLIN, 2011).

Para que a aprendizagem aconteça, faz-se necessária uma interação entre duas ou mais pessoas, cooperando em uma atividade interpessoal que

possibilite uma reelaboração intrapessoal. A partir desse contexto torna-se necessária a definição de Zona de Desenvolvimento Proximal proposta por Vygotsky, que nas suas palavras é:

Zona de Desenvolvimento Proximal é a distância entre o nível de desenvolvimento real, que se costuma determinar através da solução independente de problemas e o nível de desenvolvimento potencial, determinado através da solução de problemas sob a orientação de um adulto ou em colaboração com companheiros mais capazes (VYGOTSKY, 2010, p. 97).

Cabe ressaltar que o mais importante é explicar como a Zona de Desenvolvimento Proximal ocorre. Isto é, compreender o significado da assistência (do professor ou do grupo de trabalho) em relação à aprendizagem e desenvolvimento (CHAIKLIN, op.cit.).

Dentro da perspectiva vygotskyana de Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP), ao exercer sua função, o professor assiste ao aluno dando-lhe apoio e recursos, a fim de que ele possa alcançar um nível de conhecimento mais elevado do que seria possível sem o auxílio. Assim, não é a instrução propriamente dita, mas a assistência que permite ao aluno atuar no limite do seu potencial (FINO, 1997).

Segundo Prestes (2011), o mais importante quando se trata desse conceito é que a ZDP está intimamente ligada à relação existente entre desenvolvimento, instrução e à ação colaborativa de outra pessoa. O papel da linguagem é ressaltado pela mediação, pois é fundamental para o desenvolvimento do pensamento, de processos intelectuais superiores, onde se encontra a capacidade de formação de conceitos (CAVALCANTI, 2005).

### **3.2 Aprendizagem Colaborativa**

A teoria sobre Aprendizagem Colaborativa será utilizada nesta pesquisa para avaliar as disposições e interações entre os diferentes pares durante as atividades em grupo sob mediação do professor.

A aprendizagem colaborativa é resultante de diferentes correntes pedagógicas e tem sido utilizada por educadores em trabalhos em grupo desde o século XVIII (TORRES e IRALA, 2014). O livro publicado por John Dewey

“Democracia e Educação” é considerado um marco no início do século XX sobre o tema. Em seu livro, Dewey utiliza a organização de estudantes em grupos para a resolução de problemas, enfatizando a necessidade de o ambiente escolar reproduzir situações sociais (ARENDS, 1995). Diferentes pensadores estabeleceram pressupostos teóricos sobre aprendizagem colaborativa (TORRES e IRALA, op.cit.), incluindo Lévy Vygotsky precursor da teoria sociointeracionista.

De acordo com Dillenbourg (apud WIERSEMA, 2000), aprendizagem colaborativa é uma situação de aprendizagem onde duas ou mais pessoas se unem para aprender ou tentar aprender algo em conjunto. É reconhecido o potencial de que haja a promoção de uma aprendizagem mais ativa, pois há estímulos ao pensamento crítico, à interação, à negociação de informação e resolução de problemas. Segundo os defensores, os alunos se tornam responsáveis por sua aprendizagem, construindo conceitos e conhecimentos autonomamente. Cabe ao professor criar situações de aprendizagem que favoreçam trocas significativas entre os alunos e entre alunos e professor (TORRES e IRALA, 2014).

<b>Diferenças entre Grupos de Trabalho Tradicional e de Aprendizagem Colaborativa</b>	
<b>Grupos em aprendizagem colaborativa</b>	<b>Grupos de trabalho tradicional</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Interdependência positiva</li> <li>✓ Responsabilidade individual</li> <li>✓ Heterogeneidade</li> <li>✓ Liderança partilhada</li> <li>✓ Responsabilidade mútua partilhada</li> <li>✓ Preocupação com a aprendizagem dos outros elementos do grupo</li> <li>✓ Ênfase na tarefa e na sua manutenção</li> <li>✓ Papel do professor: observa e intervém</li> <li>✓ O grupo acompanha sua produtividade</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Não há interdependência</li> <li>✓ Não há responsabilidade pessoal</li> <li>✓ Homogeneidade</li> <li>✓ Há um líder designado</li> <li>✓ Não há responsabilidade partilhada</li> <li>✓ Ausência de preocupação com as aprendizagens dos elementos do grupo</li> <li>✓ Ênfase na tarefa</li> <li>✓ O professor ignora o funcionamento do grupo</li> <li>✓ O grupo não acompanha a sua produtividade</li> </ul>

Tabela 1: Adaptada de Torres e Irala 2014

Um dos pontos cruciais do que propõe a Aprendizagem Colaborativa é em relação ao engajamento mútuo dos alunos em prol da resolução de problemas em conjunto. Nesta abordagem não há hierarquização, o trabalho é feito de forma coordenada e síncrona com o objetivo de construir e manter uma concepção compartilhada do problema (WIERSEMA, 2000).

De acordo com Figueiredo (2006), na Aprendizagem Colaborativa o foco está no processo; as atividades dos membros do grupo são geralmente não estruturadas: os seus papéis são definidos à medida que a atividade se desenvolve; o gerenciamento das atividades é feito pelos alunos.

### **3.3 Ensino por Investigação**

O Ensino por Investigação tem sido classificado enquanto uma abordagem de ensino e, nas últimas décadas, tem ganhado espaço em pesquisas na área de Ensino de Ciências (SASSERON, 2015; BAPTISTA, 2010; FREIRE, 2009; BRANDI e GURGEL, 2002). Esta abordagem incorpora o fomento, o questionamento, o planejamento das etapas investigativas, e a construção de argumentos. Ao incorporarem processos da investigação científica, o Ensino por Investigação pode ajudar os alunos na compreensão do fazer ciência e sobre ciência.

Para que os alunos aprendam os métodos da ciência, é necessário que estes estejam presentes nas atividades de ensino. Fundamentalmente, além da dimensão conceitual, devem-se incorporar a estas as dimensões epistemológicas e sociais. Sendo assim, os alunos estarão em contato com atividades que remetem, em uma perspectiva da prática social de referência de Martinand (2003).

Esta abordagem didática engloba quaisquer atividades, que, basicamente centradas no aluno, possibilitam o desenvolvimento da autonomia e da capacidade de tomar decisões, de avaliar e de resolver problemas, apropriando-se de conceitos e teorias das ciências da natureza. Nessa perspectiva, a aprendizagem de procedimentos ultrapassa a mera execução de certo tipo de tarefas, tornando-se uma oportunidade para desenvolver novas compreensões, significados e conhecimentos do conteúdo ensinado (LIMA et al. 1999, p. 80). Acredita-se que uma das maneiras de atingir este objetivo seja por meio de

atividades e experimentos investigativos, a partir dos quais o aluno discute e argumenta com seus pares na busca por uma conclusão compartilhada por todos a respeito de determinado conceito. No entanto, é importante destacar que:

Criar relações entre o que é discutido em sala de aula e o mundo externo à escola, antes e depois da abordagem de um tema, é uma das estratégias que devemos ter em mente durante a realização das atividades. Não se trata de somente contextualizar o tema mostrando em quais situações do dia-a-dia os conhecimentos científicos estudados aparecem; trata-se, sobretudo, de gerar possibilidades de um envolvimento social pelos estudantes, envolvimento este que permita-lhes identificar outras situações, investigá-las e organizar ideias que possibilitem-lhes posicionarem em ocasiões em que aquele tema está em foco. (SASSERON, 2010)

Assim, quando envolvidos em atividades de investigação, os alunos podem reconhecer problemas e utilizar estratégias pessoais e/ou coletivas, coerentes com os procedimentos da ciência, na sua resolução.

## CAPÍTULO 4

# PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS E IMPLEMENTAÇÃO DA PROPOSTA

### 4.1 Contexto da aplicação da proposta e descrição das turmas

A proposta experimental deste trabalho foi aplicada na Escola do Serviço Social da Indústria (SESI), no bairro do Maracanã, zona norte do Rio de Janeiro. Trata-se de uma escola privada cuja a mantenedora é a Federação das Indústrias do Rio de Janeiro (FIRJAN).

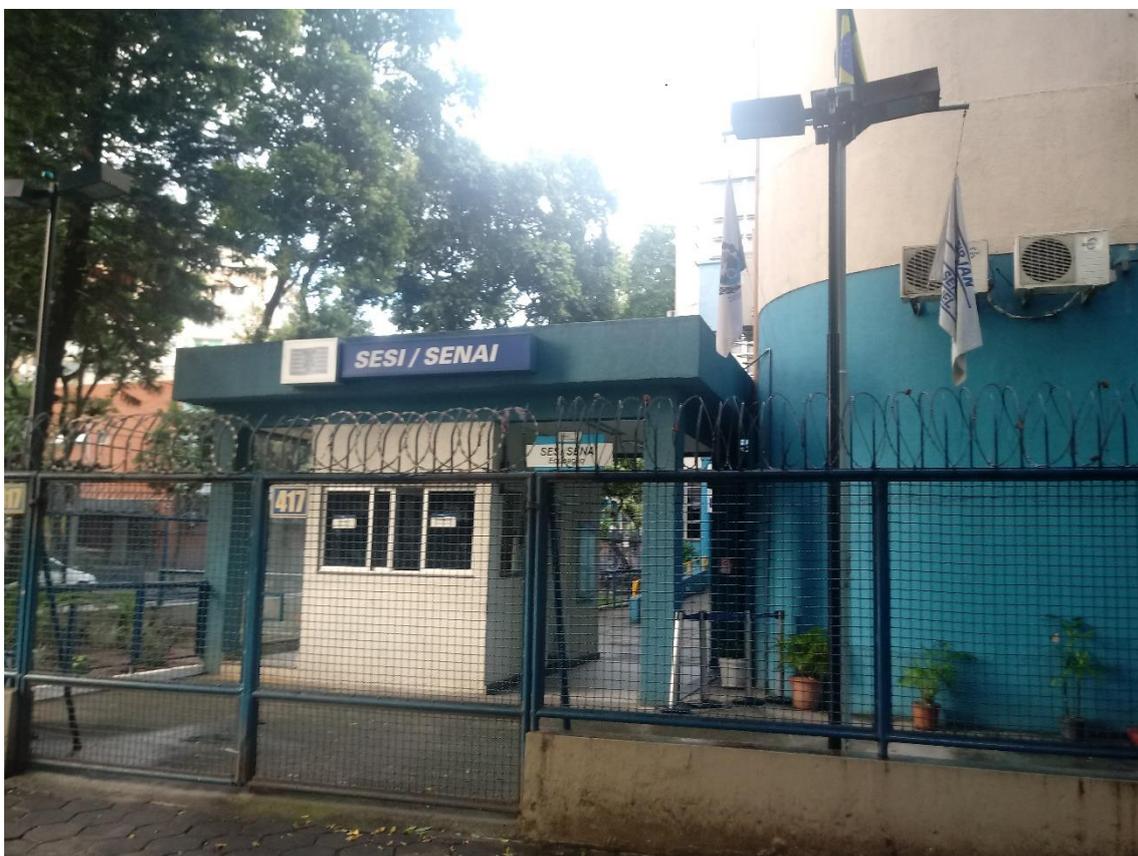


Figura 1: Escola Sesi do Maracanã

A aplicação ocorreu em turmas da 3ª série do ensino médio, a saber 70 alunos no total, onde 25 (vinte e cinco) alunos realizavam curso técnico em Comunicação Visual, 20 (vinte) eram do curso técnico de Multimídia e 25 (vinte e cinco) fizeram o técnico em Jogos Digitais. Nesta pesquisa as turmas serão codificadas a fim de preservar a identidade dos alunos.



Figura 2: Sala utilizada para desenvolvimento das atividades com os alunos

A intenção de aplicar a proposta na Escola do SESI se dá, principalmente, no que tange à quantidade de horas-aula disponibilizadas para a disciplina de Física, a saber 2 horas-aula semanais. Isso é um fator que possibilitaria, em tese, a aplicação em escolas públicas estaduais no estado do Rio de Janeiro tendo em vista a semelhança de carga horária.

## **4.2 Descrição da proposta**

### **4.2.1 Metodologia da aplicação**

Em termos metodológicos, o projeto se desenvolverá como pesquisa prioritariamente qualitativa descritiva. Segundo Godoy (1995):

Os estudos denominados qualitativos têm como preocupação fundamental o estudo e a análise do mundo empírico em seu ambiente natural. Nessa abordagem valoriza-se o contato direto e prolongado do pesquisador com o ambiente e a situação que está sendo estudada.

No trabalho intensivo de campo, os dados são coletados utilizando-se equipamentos como videoteipes e gravadores ou, simplesmente, fazendo-se anotações num bloco de papel. Para esses pesquisadores um fenômeno pode ser mais bem observado e compreendido no contexto em que ocorre e do qual é parte. Aqui o pesquisador deve aprender a usar sua própria pessoa como o instrumento mais confiável de observação, seleção, análise e interpretação dos dados coletados (GODOY, 1995, p.62).

Numa pesquisa qualitativa a preocupação está com o processo e não somente com os resultados ou produto. O interesse da investigação está voltado em verificar como um determinado fenômeno se manifesta nas atividades, procedimentos e interações diárias (GODOY, 1995).

Durante o desenvolvimento desta pesquisa, um recurso importante utilizado foi a observação participante. De acordo com Minayo (2013):

Definimos observação participante como um processo pelo qual um pesquisador se coloca como observador de uma situação social com a finalidade de realizar uma investigação científica. O observador, no caso, fica em relação direta com seus interlocutores no espaço social da pesquisa, na medida do possível, participando da vida social deles, no seu cenário cultural, mas com a finalidade de compreender o contexto da pesquisa. Por isso, o observador faz parte do contexto sob sua observação e, sem dúvida, modifica esse contexto, pois interfere nele, assim como é modificado pessoalmente. (MINAYO, 2013, p. 70).

Um instrumento de grande valia para os registros das atividades realizadas nas atividades experimentais propostas foi o diário de bordo. Segundo Cañete (2010):

O diário será compreendido como o instrumento de registro escrito que o professor utiliza para documentar os acontecimentos da aula, seus sentimentos, preocupações, frustrações, conquistas, o que fez, as atitudes dos alunos, as propostas de ação, assim como a relação destes com teorias já estudadas ou novas teorias que vier a estudar. Em uma referência aos diários dos navegadores, podemos considerar esses documentos de suma importância durante uma viagem, pois todas as atividades e acontecimentos são registrados, além de guardar

informações relevantes sobre o percurso da viagem e servir como fonte de recordação e memória (CAÑETE, 2010, p.12).

Os alunos se organizaram livremente em grupos de 4 ou 5 alunos, de acordo com a recomendação do professor. Esse tamanho de grupo permite, ou possibilita, a aproximação física e o contato visual entre os componentes. Com grupos maiores é possível que um ou mais alunos fique de fora dessa interação (COHEN e LOTAN, 2017).

De acordo com Cohen e Lotan (2017) o trabalho em grupo pode ser uma atividade que permite os alunos sintetizarem e aplicarem o que aprenderam de maneiras interessantes, além de ensinar conceitos fundamentais que são de difícil compreensão.

A proposta se desenvolve com base no ensino por investigação, nesse caso far-se-á uso da definição sobre situação-problema dada por Meirieu:

...uma situação didática na qual se propõe ao sujeito uma tarefa que ele não pode realizar sem efetuar uma aprendizagem precisa. E essa aprendizagem, que constitui o verdadeiro objetivo da situação-problema, se dá ao vencer o obstáculo na realização da tarefa. Assim, a produção supõe aquisição, uma e outra perdendo o seu objetivo de avaliações distintas (MEIRIEU, 1998, p. 192)

Com base nessa perspectiva, a fim de criar um contexto favorável ao ensino investigativo, e a atividades colaborativas, será inicialmente proposta a seguinte situação-problema para os alunos: “É possível ter uma percepção sensível do campo elétrico em uma dada região do espaço? ”, em outras palavras: “Seria possível representar o campo elétrico mapeando-o em uma dada região do espaço? Espera-se que tal situação desencadeie perguntas secundárias que poderão ser propostas por qualquer sujeito envolvido no desenvolvimento das atividades (alunos e/ou professor).

Durante o desenvolvimento das atividades e resolução do problema, pretende-se trabalhar conteúdos relacionados ao Campo Elétrico, e a partir disso desenvolver nos alunos habilidades e competências necessárias na construção do pensamento científico.

A aplicação da proposta metodológica em sala de aula esteve baseada no ensino por investigação. Nesse caso, como proposto por Carvalho *et al.*

(2014), a função do professor, nesse tipo de atividade, é propor o problema a ser solucionado, com o intuito de promover a ampliação dos conhecimentos prévios, e a geração de ideias, estabelecer métodos de trabalho colaborativo, além de promover atividades puramente práticas e um ambiente de sala de aula em que todas as ideias são respeitadas. Ainda, segundo Azevedo (2004) ao fazermos uma atividade pautada no ensino por investigação, a solução de uma situação-problema será respondida por uma experiência e a busca pela solução pode ser dividida em seis etapas: proposta do problema; levantamento de hipóteses; elaboração do plano de trabalho; montagem do arranjo experimental e coleta de dados; análise dos dados; e a conclusão.

Dessa forma, seguiremos as seguintes etapas de aplicação:

- 1) os alunos serão organizados em grupos de 4 ou 5 componentes. Não haverá critérios impostos pelo professor para a escolha da formação dos grupos de trabalho.
- 2) apresentação da situação-problema aos grupos de trabalho, uma semana antes da realização da atividade experimental.
- 3) realização da atividade experimental para quantificação e qualificação do campo elétrico.
- 4) elaboração, pelos grupos de trabalho, de um relatório de atividade experimental.

#### **4.2.2 Construção dos dados**

A fim de atingir os objetivos do presente trabalho. Realizou-se uma observação participante ao longo da atividade experimental, tendo como bases para a construção dos dados, o diário de bordo do professor e o registro dos diálogos em áudio.

Os dados foram construídos a partir das interações discursivas. Para isso, a base foram as transcrições referentes às gravações em áudio, e as anotações do professor em seu diário de bordo. Os dados foram categorizados a fim de permitir as inferências do pesquisador.

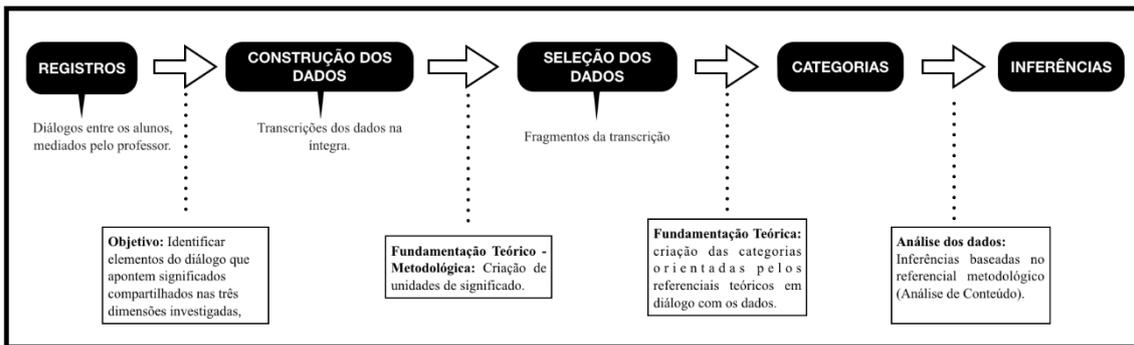


Tabela 2: Esquema de seleção e análise dos dados (Fonte: Autor, 2018)

### 4.2.3 Implementação da proposta

A intenção nesse ponto da dissertação é descrever como a proposta experimental foi apresentada aos alunos e de como os professores podem utilizar, de modo mais proveitoso possível, o material instrucional que faz parte deste trabalho.

#### 4.2.3.1 Ação mediada x Ação à distância

A discussão acerca do conceito de campo, na Física, é pautada, principalmente, pela dicotomia ação à distância / ação mediada (TORT et al. 2004).

Nessa proposta o foco será na ação mediada realizada pelo campo na transmissão da força elétrica. A escolha desse enfoque justifica-se, tendo em vista que ação à distância subentende uma transmissão imediata, sem nenhum agente intermediário. As diferenças entre o ponto de vista da ação à distância e o ponto de vista do campo aparecem quando há variações na distribuição de cargas ao longo do tempo. As equações de Maxwell, demonstram que há uma velocidade limite para a propagação das interações eletromagnéticas, a velocidade da luz (NUSSENZVEIG, 2001).

Michael Faraday é reconhecidamente o responsável pelo conceito de linhas de força, as quais foram essenciais para o entendimento do campo elétrico. Ele rejeitava a instantaneidade na transmissão das interações elétricas, no entanto, em nenhum dos escritos de Faraday é encontrado o termo campo. Os primeiros registros acerca da utilização deste termo remetem aos físicos: Maxwell, Watson e Burbury, nas áreas de eletricidade e magnetismo, além de Tyndall, que utiliza o termo campo na calorimetria. Sendo assim, James Clerk

Maxwell é quem introduz o termo campo para explicar a transmissão de fenômenos elétricos (ROCHA, 2009).

#### 4.2.3.2 Caracterização do Campo Elétrico entre placas paralelas

Um campo vetorial é uma construção do cálculo vetorial que associa um vetor a todo ponto de uma variedade diferenciável. Em referência ao campo elétrico, a cada ponto do espaço é associado um vetor campo elétrico ( $\vec{E}$ ), com módulo, direção e sentido. É importante ressaltar que não é o campo elétrico em si que gera a força elétrica (atrativa ou repulsiva), mas a interação entre os campos elétricos, de forma que a força elétrica,  $\vec{F}$ , pode ser expressa em função do campo elétrico, por:

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (i)$$

O campo elétrico, por sua vez, pode ser evidenciado pela força elétrica, que uma carga  $q$  experimenta, sendo definido por:

$$\vec{E} = \vec{F}/q \quad (ii)$$

Pelas equações i e ii, dadas as condições de contorno pertinente, é possível obter a fonte de origem do campo elétrico ( $\vec{E}$ ), ou seja, como está a distribuição de cargas, finita (volumar) e constantes no tempo, que afetem partículas carregadas em um determinado ponto de influência.

Uma das formas de se caracterizar o campo elétrico, cuja região as partículas carregadas sofrem a ação de uma força ou adquirem energia por causa da sua carga elétrica, é através do potencial elétrico (V). Um corpo eletrizado possui energia potencial em virtude de sua localização no interior de um campo elétrico. De forma análoga, o potencial elétrico exerce o mesmo papel que a pressão realiza nos fluidos. Se existe uma diferença de pressão entre duas extremidades de uma tubulação, o fluido escoar da região de maior pressão para a de menor pressão. No experimento proposto será possível verificar que o mesmo acontece quando há uma diferença de potencial elétrico.

Quando uma carga  $q$  é deslocada de um ponto com potencial  $V_1$  para outro ponto com potencial  $V_2$ , é necessário realizar trabalho para que esta carga se mova no campo elétrico. Em Mecânica, trabalho ( $\tau$ ) é definido como:

$$\tau = \vec{F} \cdot \vec{d} \cdot \cos \theta \quad (\text{ii});$$

onde  $\theta$  é o ângulo entre  $\vec{F}$  e  $\vec{d}$ .

Nesse caso  $\vec{F}$  é a força elétrica, que realiza trabalho sobre a carga  $q$ , e é paralela ao deslocamento ( $\vec{d}$ ). O que denota  $\theta = 0^\circ$  e, por conseguinte,  $\cos \theta = 1$ . Ao se substituir (i) em (iii) resulta-se numa expressão envolvendo o campo ( $\vec{E}$ ), a carga ( $q$ ) e o deslocamento ( $\vec{d}$ ), que no caso do experimento apresentado pode ser representado pela distância entre as regiões de maior e menor potencial elétrico.

$$\tau = q \cdot \vec{E} \cdot \vec{d} \quad (\text{iv});$$

A diferença de potencial elétrico  $U = V_1 - V_2$  é dada pela expressão:

$$U = \frac{\tau}{q} \quad (\text{v});$$

ou

$$\tau = U \cdot q \quad (\text{vi});$$

Substitui-se (v) em (iv) e, finalmente, obtém-se o módulo do campo elétrico ( $E$ ) em função da diferença de potencial elétrico e da distância entre as superfícies equipotenciais:

$$E = \frac{U}{d} \quad (\text{vii});$$

ou

$$E = \frac{(V_1 - V_2)}{d} \quad (\text{viii});$$

Através das linhas de campo é possível elaborar uma representação visual do vetor campo elétrico para que possamos caracteriza-lo. Desta forma podemos compreender melhor como o espaço se modifica e como as interações elétricas acontecem. Cabe ressaltar que as linhas de campo são sempre paralelas<sup>2</sup> ao campo elétrico.

Uma das formas de calcularmos o módulo do campo elétrico, com a finalidade de começar a sua caracterização, é conhecermos duas superfícies nas quais o potencial elétrico é constante, as chamadas superfícies equipotenciais. Assim, podemos calcular o campo elétrico médio entre duas superfícies equipotenciais. É importante ressaltar que o campo elétrico é sempre perpendicular às superfícies equipotenciais. Utilizando a equação (viii) é possível determinar o módulo do campo elétrico.

Ao se analisar o campo elétrico entre duas placas paralelas é possível determinar três regiões para sua caracterização:

- uma região entre as placas onde o campo elétrico é praticamente uniforme;
- duas regiões externas às placas, onde o campo elétrico é praticamente nulo.

Na figura 3 estão representadas estas regiões.

O campo elétrico nas placas condutoras pode ser representado por:

$$E = \frac{|\sigma|}{2 \varepsilon} \quad (\text{ix})$$

Onde  $\sigma$  é a densidade superficial de carga e  $\varepsilon$  é a permissividade elétrica do meio.

No esquema representado acima, tem-se:

$$E_1 = \frac{|\sigma|}{2 \varepsilon} \quad (\text{x})$$

e

---

<sup>2</sup> Cabe ressaltar que o Campo Elétrico é sempre tangente as linhas de campo. Nessa via, o vetor campo elétrico, no ponto em questão, é diferenciado do campo elétrico do ponto.

$$E_2 = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon} \quad (\text{xi})$$

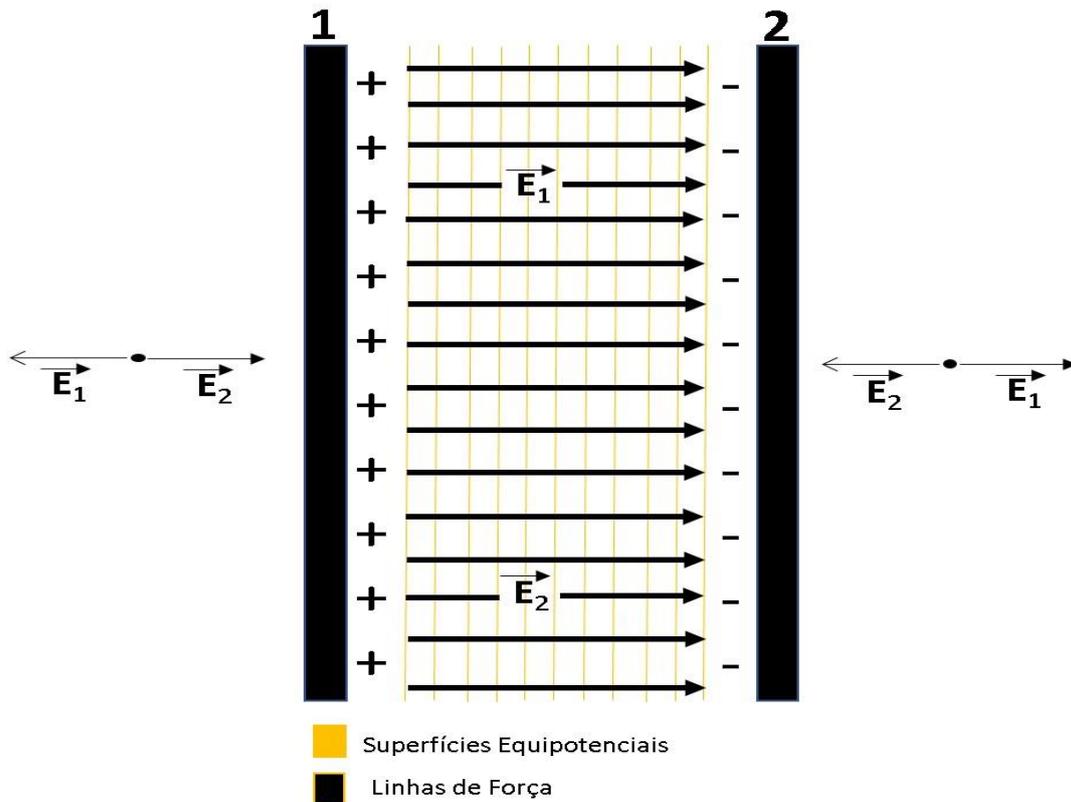


Figura 3: Campo Elétrico entre placas paralelas. Aqui não está representado o efeito de distorção das linhas de campo elétrico promovido pelas bordas.

Na região entre as placas o campo elétrico resultante ( $E_R$ ):

$$E_R = \frac{|\sigma|}{2\varepsilon} + \frac{|\sigma|}{2\varepsilon} \quad (\text{xii})$$

$$E_R = \frac{|\sigma|}{\varepsilon}$$

Nas regiões externas às placas temos o módulo do campo elétrico resultante nulo.

É oportuno lembrar que sobre a superfície das barras condutoras o potencial escalar é constante, o que as tornam, cada qual, uma superfície equipotencial.

#### 4.2.3.3 Apresentação da proposta experimental aos alunos

Inicialmente aos alunos é apresentada a situação-problema central que irá nortear todo trabalho investigativo desenvolvido pelos grupos. Os grupos, por sugestão, devem conter de 4 a 5 participantes para o desenvolvimento das atividades propostas. O passo seguinte foi apresentar aos alunos os materiais a serem utilizados na atividade, que consistem numa cuba eletrolítica, um multímetro e duas folhas de papel milimetrado. É importante salientar que a questão central apresentada serve de motivação à pesquisa acerca da caracterização do campo elétrico pelos grupos colaborativos, ela deve, portanto, instigar os alunos à busca pelas informações requeridas.

A relação entre o campo elétrico e o potencial elétrico já havia sido apresentada aos alunos em aulas anteriores. Por se tratar de um experimento tradicional (SCHIEL, 1979), que busca o mapeamento das linhas de campo elétrico, a própria montagem experimental sugere de que forma os estudantes deveriam atuar. Reforça-se, contudo, que a ideia de materialização das linhas de campo por meio de sua representação gráfico-pictórica foi fruto da problematização.

Os materiais necessários para a construção de uma cuba eletrolítica de baixo custo constam na figura 2.

Na prancha de fotos podemos observar que: a imagem (1) é um carregador de celular adaptado com garras jacaré, evita o uso de pilhas e/ou baterias; a imagem (2) é um multímetro digital; a (3) é uma lâmpada de 3W – 2V; (4) é um fio com garras jacaré nas extremidades; a imagem (5) tubos de cobre utilizados em refrigeração; a imagem (6) tem-se o papel milimetrado; a (7) tem-se a solução eletrolítica (Água +  $\text{CuSO}_4$ ); a (8) tem-se um recipiente utilizado como cuba eletrolítica e na imagem (9) a cuba está montada.

O uso do carregador, além de ser ambientalmente correto, reduz o custo com baterias e pilhas, além de oferecer uma tensão baixa (em torno de 5 V) e suficiente para realizar as medidas propostas.

O multímetro apresentado é um dos mais baratos encontrados no mercado.

A lâmpada relacionada, na prancha de fotos, será usada numa atividade desafio para os alunos, a qual será especificada mais adiante.

Os tubos de cobre são utilizados como eletrodo na cuba eletrolítica. Uma sugestão de substituição deste material é a utilização de eletrodos construídos a partir de latas de alumínio.

A solução eletrolítica foi preparada com 2 litros de água misturada com 20 gramas de sulfato de cobre ( $\text{CuSO}_4$ ). Pode-se usar no lugar do sulfato de cobre, o sal de cozinha com a mesma medida indicada.

É importante que o recipiente utilizado como a cuba deva ser necessariamente com o fundo completamente liso. Isso facilitará a visualização das superfícies equipotenciais.

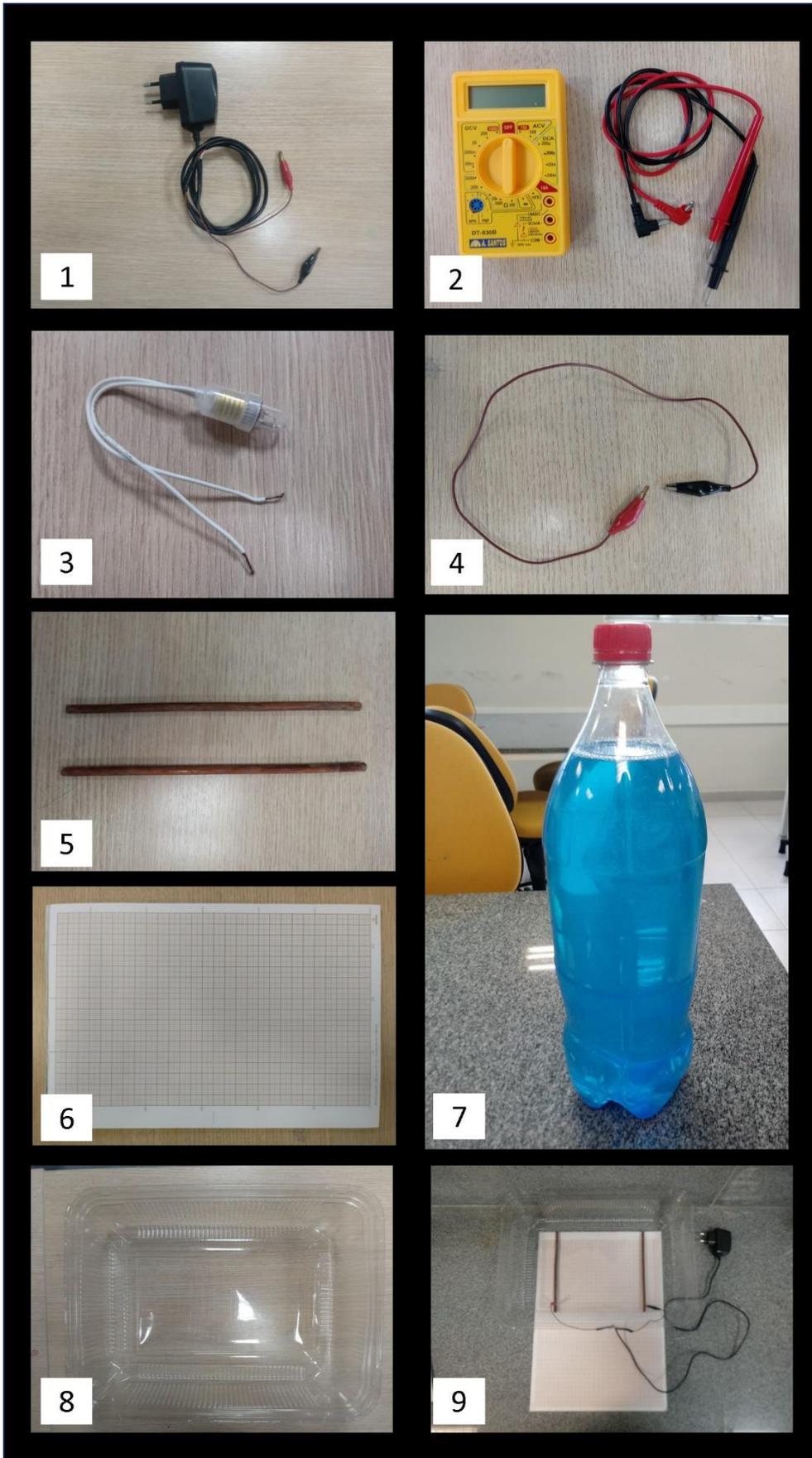
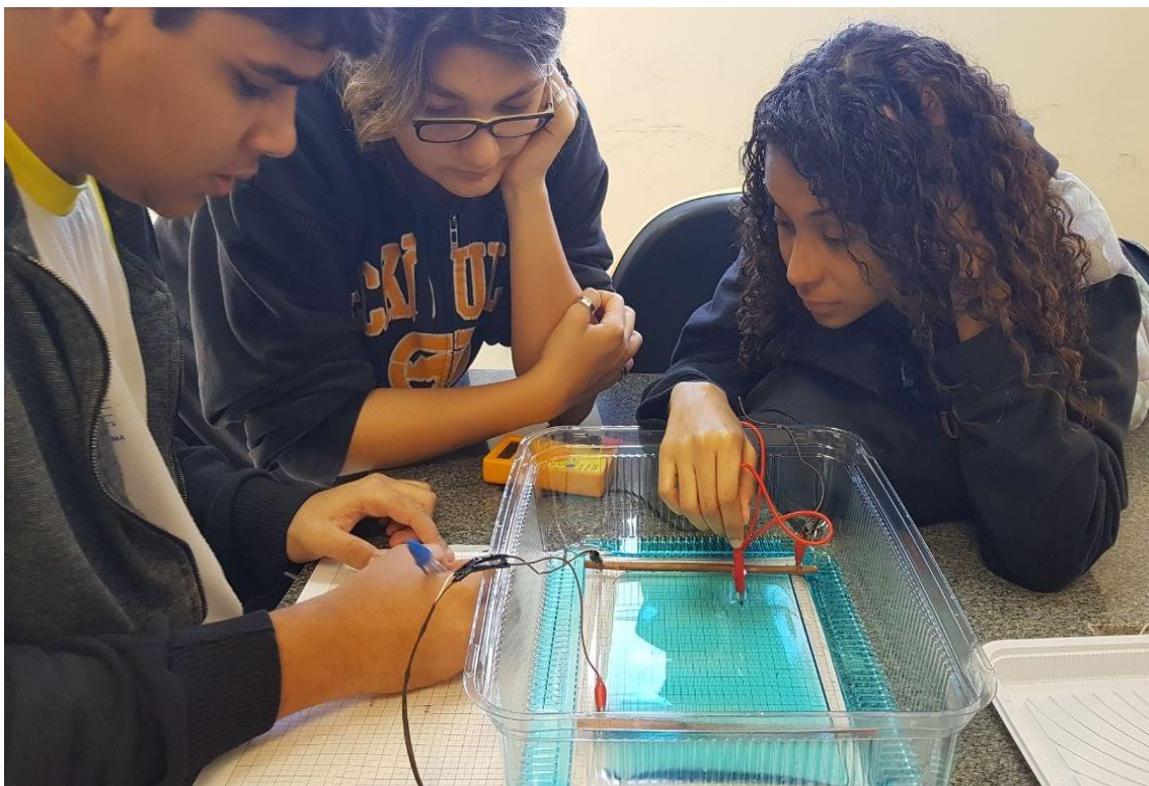


Figura 4: Materiais para a Cuba Eletrolítica.

A situação-problema: “Seria possível representar o campo elétrico mapeando-o em uma dada região do espaço?” é apresentada aos grupos de alunos antes da preparação da atividade experimental selecionada para resolver o problema. É importante salientar que a questão central apresentada serve de motivação à pesquisa acerca da caracterização do campo elétrico pelos grupos colaborativos, ela deve, portanto, instigar os alunos à busca pelas informações requeridas.

É importante que o professor oriente os grupos de alunos nas seguintes atividades:

- posicionar os eletrodos a uma distância de 20 cm um do outro;
- encontrar, pelo menos, seis superfícies equipotenciais;
- caracterizar (intensidade, direção e sentido) o campo elétrico entre os eletrodos.



*Figura 5: Grupo colaborativo realizando a atividade experimental.*

Para seguir com uma proposta baseada no ensino investigativo é importante ressaltar a necessidade de o professor ficar atento, pois a atividade

proposta não deve se tornar uma simples reprodução de um experimento. Ela deve conter elementos que propiciem a investigação por parte dos alunos. Para isto, a interação do professor com os grupos colaborativos torna-se imprescindível para que a atividade experimental se torne investigativa.

Handwritten calculations on lined paper showing the calculation of electric field strength from equipotential surfaces. Five steps are shown, each with a potential difference and a distance, resulting in an electric field value in V/m.

$$1^{\circ} \rightarrow \frac{3,61 - 3,41}{0,01} = \frac{0,2}{0,01} = 20 \text{ V/m}$$

$$2^{\circ} \rightarrow \frac{3,41 - 2,26}{0,06} = \frac{1,15}{0,06} = 19,16 \text{ V/m}$$

$$3^{\circ} \rightarrow \frac{2,26 - 1,60}{0,03} = \frac{0,66}{0,03} = 22 \text{ V/m}$$

$$4^{\circ} \rightarrow \frac{1,60 - 1,09}{0,02} = \frac{0,51}{0,02} = 25,5 \text{ V/m}$$

$$5^{\circ} \rightarrow \frac{1,09 - 0,90}{0,01} = \frac{0,19}{0,01} = 19 \text{ V/m}$$

Figura 6: Cálculo do campo elétrico a partir das superfícies equipotenciais.

Após a apresentação da situação-problema central é apresentada uma outra questão: O que acontece com o Campo Elétrico quando invertemos a polaridade dos eletrodos?

A partir das medidas realizadas na situação-problema central, os alunos confrontam seus dados com as medidas realizadas quando há a inversão da polaridade dos eletrodos. Espera-se que os grupos cheguem às conclusões acerca da mudança da orientação do campo, entre as placas.

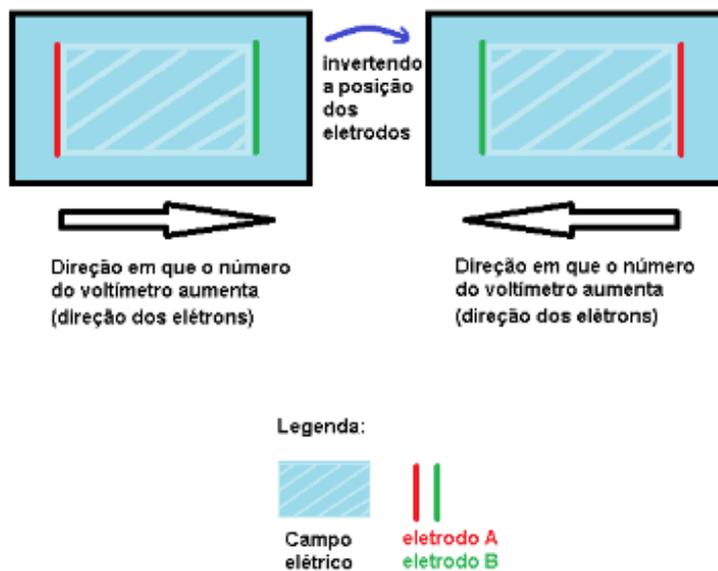


Figura 7: Representação dos alunos acerca da inversão da polaridade dos eletrodos.

Após a inversão da polaridade dos eletrodos, aos alunos é apresentado um questionamento acerca da intensidade do campo elétrico atrás dos eletrodos. Pode ser surpreendente para os alunos perceberem, através das medidas, que potencial elétrico, na região atrás dos eletrodos, é praticamente constante. Isso deve conduzi-los a entender que o campo elétrico, nessa região, é nulo.

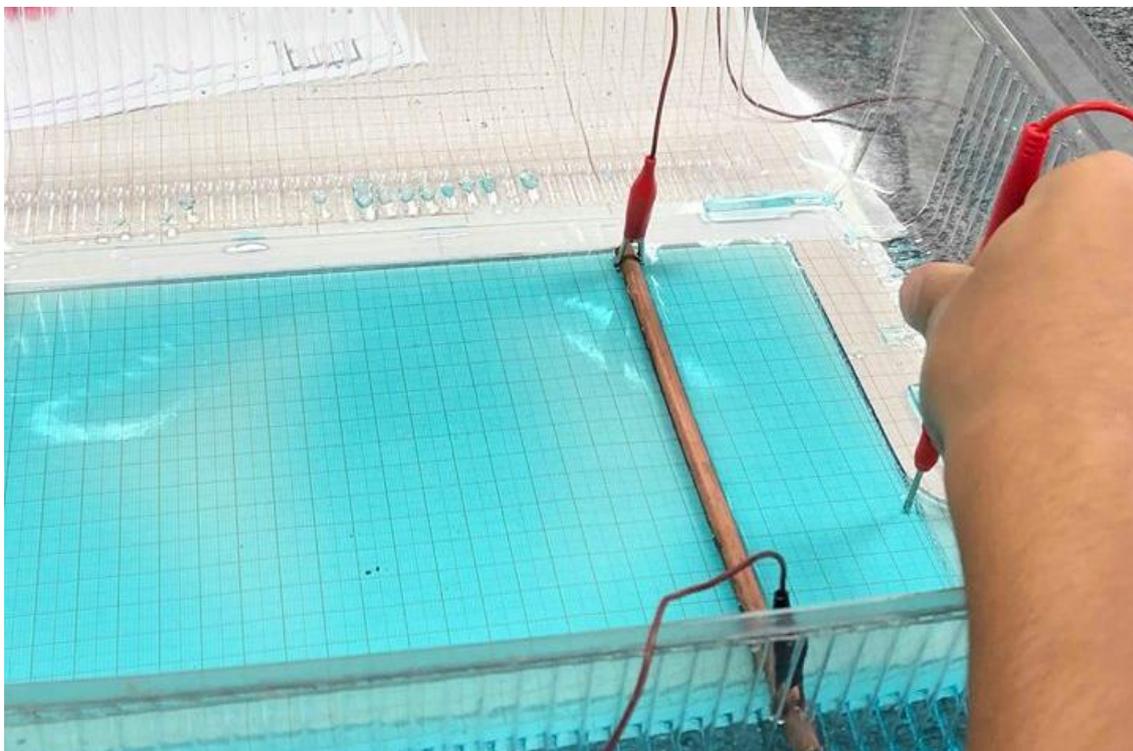


Figura 8: Os alunos realizam medidas atrás dos eletrodos.

Na próxima atividade os grupos de alunos realizam as medidas com o voltímetro e verificam o que ocorre com o campo elétrico quando a distância entre os eletrodos é reduzida pela metade. É importante que os alunos concluam que a intensidade do campo elétrico dobra, em relação às medidas realizadas anteriormente.

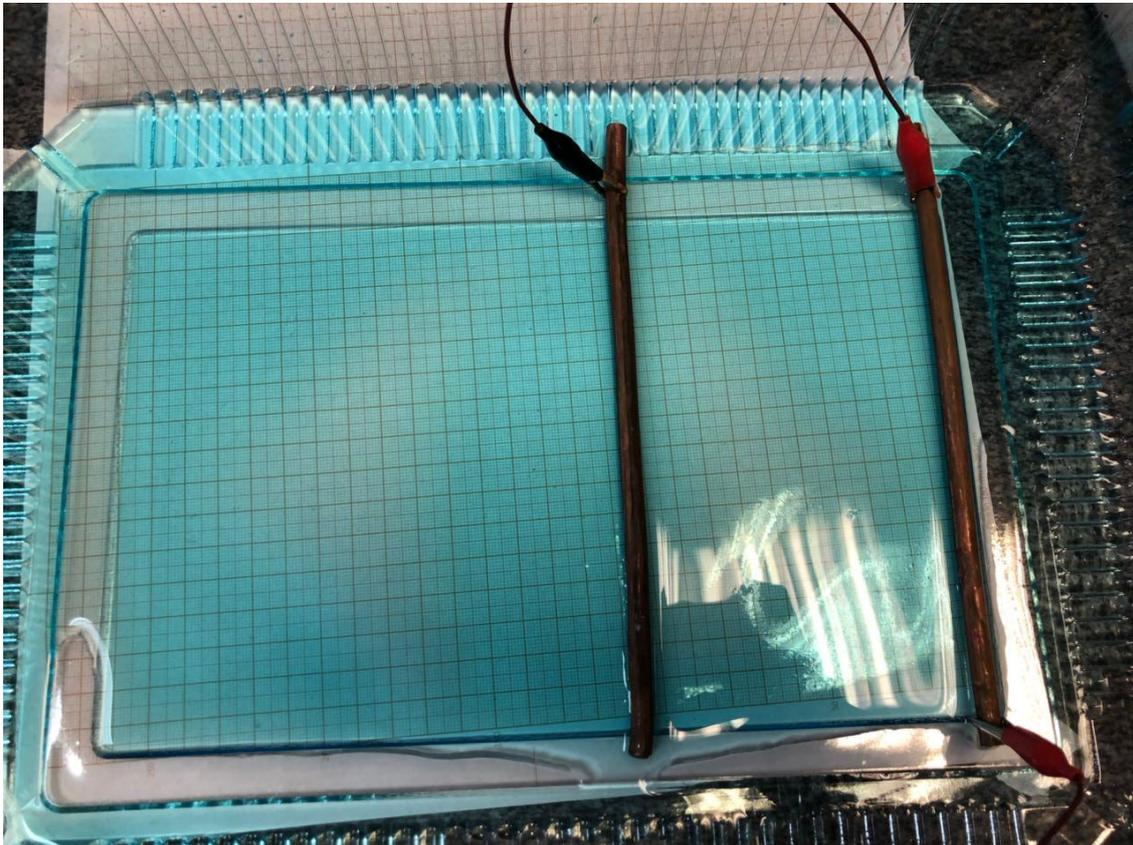
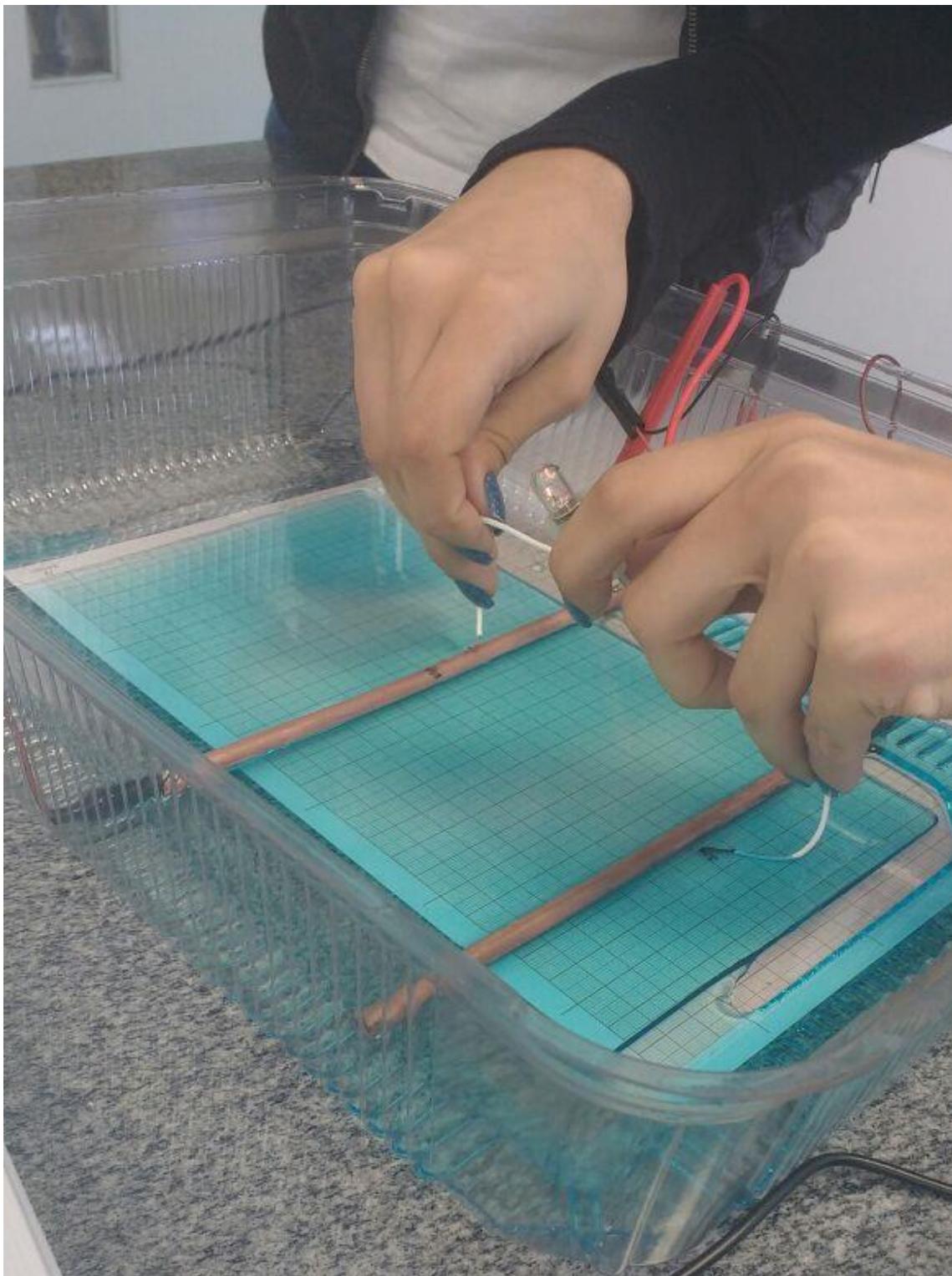


Figura 9: Os alunos realizam medidas com a distância reduzida pela metade.

$$\begin{aligned} &\hookrightarrow \text{campo elétrico de } 30 \text{ cm} \\ &\hookrightarrow (3,9 - 2,05) / 0,04 \qquad \hookrightarrow (2,05 - 0,38) / 0,04 \\ &\hookrightarrow 46,25 \qquad \qquad \qquad \hookrightarrow 41,75 \\ &\frac{46,25 + 41,75}{2} = 44 \text{ volt/metro} \end{aligned}$$

Figura 10: A conclusão de que o campo elétrico dobra, nesse caso.

Ao finalizar as investigações realizadas pelos alunos, pode-se propor um problema final. Aos alunos foi apresentada a seguinte situação: “Você consegue acender uma lâmpada, desde que um fio toque o eletrodo e o outro a solução?”



*Figura 11: A verificação da existência de corrente elétrica devido a diferença de potencial.*

Essa é uma atividade que pode demandar uma circulação, mais atenta ainda, do professor entre os grupos. A intenção é que os alunos visualizem a corrente elétrica produzida pela diferença de potencial na solução.

## CAPÍTULO 5

### RESULTADOS

#### 5.1 Construção dos dados e categorização

A partir dos referenciais teórico-metodológicos, e baseados no ensaio empírico realizado com os alunos do Ensino Técnico Integrado ao Ensino Médio, foram construídas 4 categorias para cada dimensão supracitada, conforme apresentadas na Tabela 3. O Ensino por Investigação serviu de inspiração para criação das dimensões categóricas (conceitual, epistemológica e interação social). A análise dos dados permitiu a criação das categorias (I, II, III e IV) relacionadas às dimensões conceitual e epistemológica, já as categorias relacionadas a interação social emergem dos preceitos da Aprendizagem Colaborativa.

Dimensões / Categorias	I	II	III	IV
<b>Conceitual</b>	Apenas identifica os pontos de mesmo potencial elétrico.	Usa corretamente a relação entre o campo e o potencial elétrico, e faz mapeamento do campo para a configuração dada.	Além da realização do mapeamento, coloca em discussão os valores do potencial elétrico medidos pelo multímetro.	Extrapolando a ideia da percepção geométrica do campo para outras configurações.
<b>Epistemológica</b>	As soluções surgem basicamente da ação prática com o experimento.	As soluções surgem do diálogo entre o experimento e o fundamento teórico visto anteriormente.	As soluções são construídas com pouca relação com a prática experimental.	Apresentação de soluções criativas que não estão relacionadas com a teoria, tampouco com a prática.
<b>Interação Social</b>	Preponderância de ações individuais.	As soluções são construídas coletivamente. (Ações internas ao grupo).	As soluções são construídas coletivamente. (Ações externas ao grupo, excluindo a figura do professor).	Auxílio de um parceiro mais capaz, excluindo a figura do professor.

Tabela 3: Categorias das dimensões: conceitual; epistemológica; e Interação Social

## 5.2 Análise dos dados

Os dados foram construídos a partir das interações discursivas obtidas das gravações em áudio, que foram transcritas. A partir daí, como referencial metodológico para a análise de dados, tomou-se como base a análise de conteúdo. Os dados foram categorizados, a fim de permitir as inferências do pesquisador.

Com relação a dimensão conceitual, procura-se, portanto, nesta dimensão, identificar a partir das categorias construídas os conceitos físicos presentes na elaboração das soluções dos problemas propostos aos alunos. O fragmento abaixo traz elementos que parecem caracterizar a categoria conceitual III.

<p><b>ALUNO A:</b> Professor, deixa eu te fazer uma pergunta. Os campos aqui, eles mudaram. Por exemplo esse aqui não ficou mais sendo 6,61 negativo. Normal né?</p> <p><b>PROFESSOR:</b> Sim. Então o que aconteceu com o campo elétrico?</p> <p><b>ALUNO A:</b> Ficou tudo negativo, você pode ver aqui ó, tudo negativo...</p> <p><b>ALUNO B:</b> Será que ficou espelhado? É isso?</p> <p><b>PROFESSOR:</b> Literalmente... se ele estava pra direita, ele foi pra onde agora?</p> <p><b>ALUNO B:</b> Que o campo se inverteu.</p>
--

Tabela 4: Fragmento do diálogo entre o professor e alunos participantes.

A fala do aluno A demonstra que, além de realizar o mapeamento do campo elétrico a partir das superfícies equipotenciais (relação geométrica, apresentada na abordagem teórica), o grupo do qual fazia parte avançou no sentido de incluir em suas discussões os valores numéricos obtidos a partir do uso do multímetro (Dimensão conceitual – categoria III). Tomando como base o mesmo fragmento (Tabela 4), destacamos elementos do texto transcrito que nos permitiram identificar as categorias das outras duas dimensões analisadas (epistemológica e interação social).

Na dimensão epistemológica inferimos que o referido grupo, representado pelo aluno A, recorreu a conceitos teóricos na relação entre o campo elétrico e a diferença de potencial, mas também incluiu as observações referentes a montagem experimental para solução do problema apresentado. (Dimensão epistemológica – categoria II). A categorização relativa à interação social se deu ao percebermos que a solução encontrada foi construída na interação discursiva

entre o aluno A e o aluno B. Destacamos que os alunos A e B não pertenciam ao mesmo grupo (Interação social – categoria III). As duas últimas dimensões categóricas envolvem questões relacionadas às práticas epistêmicas. Nos momentos relacionados às interações discursivas entre os alunos nos grupos, sobretudo na ausência do professor, identificamos ações relativas à Produção, à Comunicação e à Avaliação do conhecimento. Na instância relativa à Produção do conhecimento houve preponderância da articulação do conhecimento proveniente da AE (observacional) com aquele apresentado previamente pelo professor em uma abordagem teórica (conceitual).

A partir das medidas realizadas com o voltímetro os alunos identificaram os pontos de mesmo potencial e construíram as linhas de força associadas ao Campo Elétrico. A elaboração de hipóteses estava geralmente associada aos conceitos previamente trabalhados. Percebemos na referida instância uma ação pontual que remetia ao desenvolvimento de investigações e ao planejamento de novas ações. Um dos alunos pensou na possibilidade de simular uma carga puntiforme, nada tão elaborado que pudéssemos inferir um movimento de generalização.

Na instância de Comunicação percebemos prioritariamente práticas epistêmicas relacionadas à negociação de explicações e da transformação dos dados. Na referida atividade experimental as ações relacionadas à Comunicação estiveram presentes nas negociações entre os alunos do grupo quando as expectativas previstas pela teoria eram de certa forma frustradas na “confrontação empírica”. Os alunos tiveram dificuldades quando encontraram valores de potencial diferentes para pontos de uma mesma linha vertical, uma vez que a teoria apontava que estes deveriam apresentar mesmos valores. “Se mudar muito é porque está acontecendo alguma coisa na maneira de medir. Aqui ó... aqui deu 1,56. E no meio deu 2 “(Aluno C).

Finalmente, verificamos ações de práticas epistêmicas relacionadas à instância social de Avaliação na justificativa de suas conclusões, assim como no uso dos dados para avaliação das conclusões. A atividade experimental proposta, tinha como objetivo prático o mapeamento das linhas de campo a partir da identificação das superfícies equipotenciais. Foi então que, baseados nas representações das referidas linhas, os alunos justificaram suas conclusões. A partir das medidas dos potenciais, os alunos concluíram que o campo elétrico

era nulo nas direções onde o potencial era constante, justificando suas conclusões baseados nos dados “[...] se o potencial A é igual ao potencial B, o que acontece com ele? Nulo. É zero” (Aluno D).

## **CAPÍTULO 6**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Este trabalho buscou apresentar a importância das atividades investigativas no surgimento das dimensões epistemológica e de interação social. Buscou-se também verificar como estas dimensões podem ser evidenciadas a partir das práticas epistêmicas nas instâncias de Produção, Comunicação e Avaliação do conhecimento. As categorias que emergiram das discussões teóricas em diálogo com a análise dos dados se mostraram adequadas em uma perspectiva da análise da presente atividade investigativa.

Ressalta-se, contudo, a dificuldade de incorporar temas da Física com alto grau de abstração (como o caso do Campo e do Potencial Elétrico) em atividades investigativas que sejam efetivamente resultado de problematização. No entanto, os resultados dessa pesquisa mostram que este tipo de atividade, além de incorporar práticas epistêmicas às aulas de Física, apresenta grande potencial de engajamento e de motivação dos alunos.

## Referências Bibliográficas

ARENDS, R. Aprender a Ensinar (M. Alvarez, L. Bizarro, J. Nogueira, I. Sá & A. Vasco, Trad.). Lisboa: Graça Margarido Editora, 1995.

BAPTISTA, M. L. M. Concepção e implementação de actividades de investigação: um estudo com professores de física e química do ensino básico. (Tese de doutorado em Educação - Didática das Ciências), Universidade de Lisboa, Instituto de Educação. 2010

BARCELLOS, Adriano da Silva. Objeto digital de aprendizagem: resolução de exercícios de um teste conceitual envolvendo os conceitos de energia elétrica e potência elétrica e sua relação com os conceitos de tensão, corrente e resistência elétricas. 2014.

BARP, Jeferson. Uma proposta de trabalho orientada por projetos de pesquisa para introduzir temas de física no 9º ano do ensino fundamental. 2016.

BRANDI, Arlete Terezinha Esteves; GURGEL, Célia Margutti do Amaral. A alfabetização científica e o processo de ler e escrever em séries iniciais: emergências de um estudo de investigação-ação. *Ciência & Educação* (Bauru), v. 8, n. 1, p. 113-125, 2002.

CAÑETE, Lílian Sipoli Carneiro. O diário de bordo como instrumento de reflexão crítica da prática do professor. Programa de Pós-Graduação em Educação–UFMG, Belo Horizonte, 2010.

CARVALHO, AMP de et al. Calor e temperatura: um ensino por investigação. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2014.

CAVALCANTI, Lana de Souza. Everyday life, pedagogical mediation and concept formation: how Vygotsky contributed to geography teaching. *Cadernos Cedes*, v. 25, n. 66, p. 185-207, 2005.

CHAIKLIN, Seth. A zona de desenvolvimento próximo na análise de Vigotski sobre aprendizagem e ensino. *Psicologia em Estudo*, v. 16, n. 4, p. 659-675, 2011.

COHEN, Elizabeth G.; LOTAN, Rachel A. *Planejando o trabalho em grupo*. Penso, 2017.

DA SILVA, Frederico Jordão Montijo. Proposta de uma metodologia para o ensino de inércia no ensino médio utilizando os conceitos de equilíbrio dos corpos.

DE ARAÚJO, Mauro Sérgio Teixeira; FORMENTON, Ricardo. Fontes Alternativas de Energia Automotiva no Ensino Médio Profissionalizante: análise de uma proposta contextualizada de ensino de física em um curso técnico. *Alexandria: Revista de Educação em Ciência e Tecnologia*, v. 5, n. 1, p. 33-61, 2012.

DE AZEVEDO, Maria Cristina P. Stella. *Ensino por investigação: problematizando as atividades em sala de aula. Ensino de Ciências-unindo a pesquisa e a prática*, p. 19, 2004.

DE LIMA, Viviani Alves. *Atividades experimentais no ensino médio—reflexão de um grupo de professores a partir do tema eletroquímica*. 2004. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

DORNELES, Pedro FT; ARAUJO, Ives S.; VEIT, Eliane A. Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: Parte I—circuitos elétricos simples. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 28, n. 4, p. 487-496, 2006.

DOS REIS, Camilla Lima. *O desafio dos pequenos projetos de física no programa adolescente aprendiz*. 2014.

FIGUEIREDO, F. J. Q. *A aprendizagem colaborativa de línguas*. Goiânia: Ed. da UFG, 2006.

FINO, Carlos Manuel Nogueira. Vygotsky e a Zona de Desenvolvimento Proximal (ZDP): três implicações pedagógicas. *Revista Portuguesa de educação*, v. 14, p. 273-291, 2001.

FREIRE, A. M. Reformas curriculares em ciências e o ensino por investigação. In: *Atas do XIII Encontro Nacional de Educação em Ciências da Escola Superior de Educação do Instituto Politécnico, Castelo Branco / Portugal*. 2009.

GODOY, Arlida Schmidt. Introdução à pesquisa qualitativa e suas possibilidades. *Revista de administração de empresas*, v. 35, n. 2, p. 57-63, 1995.

HODSON, Derek. Hacia un enfoque más crítico del trabajo de laboratorio. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 12, n. 3, p. 299-313, 1994.

HODSON, Derek. Teaching and learning chemistry in the laboratory: A critical look at the research. *Educación química*, v. 16, n. 1, p. 30-38, 2005.

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. Brasil no PISA 2015. Disponível em: <[http://download.inep.gov.br/acoes\\_internacionais/pisa/resultados/2015/pisa2015\\_completo\\_final\\_baixa.pdf](http://download.inep.gov.br/acoes_internacionais/pisa/resultados/2015/pisa2015_completo_final_baixa.pdf)>. Acesso em: 22 abr. 2017).

INEP. Instituto Nacional de Estudos e Pesquisas Educacionais Anísio Teixeira. *Panorama da Educação do Campo*. INEP. Brasília: 2007.

INSAUSTI, M. J. Análisis de los trabajos prácticos de química general en un primer curso de universidad. *Enseñanza de las Ciencias*, v. 15, n. 1, p. 123-130, 1997.

KRUMMENAUER, Wilson Leandro; DA COSTA, Sayonara Salvador Cabral; DA SILVEIRA, Fernando Lang. Uma experiência de ensino de física contextualizada para a educação de jovens e adultos. *Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências*, v. 12, n. 2, p. 69-82, 2010.

LATOSINSKI, E. S. Uma proposta inovadora para o ensino de temas

estruturantes de física a partir de conceitos de eletrodinâmica. 2013.

LIBÂNEO, José Carlos. As teorias pedagógicas modernas revisitadas pelo debate contemporâneo na educação. Educação na era do conhecimento em rede e transdisciplinaridade. Campinas: Alínea, p. 19-63, 2005.

LIMA, M. E. C. C.; AGUIAR, O. G. J.; BRAGA, S. A. M. Aprender Ciências – um mundo de materiais. Belo Horizonte, MG / Brasil: UFMG, 1999.

MAGALHÃES, Mônica M. G. A perspectiva da Linguística: linguagem, língua e fala. Rio de Janeiro, 2007.

MARTINAND, J. L. La Question de la Référence en Didactique du Curriculum. Investigações em Ensino de Ciências, v.8, n.2, 2003, p.125-130.

MEIRIEU, Philippe. Aprender... sim, mas como? Artmed, 1998.

MINAYO, M. C. S. (Org.). Pesquisa social: teoria, método e criatividade. 33. ed. Petrópolis, RJ: Vozes, 2013.

MOREIRA, Marco Antonio. Pesquisa básica em educação em ciências: uma visão pessoal. Revista Chilena de Educación Científica, v. 3, n. 1, p. 10-17, 2004.

MÜLLER, A. D. E. Esquemas Conceituais Como Recurso De Ensino, Aprendizagem e Avaliação Na Eletrodinâmica Em Nível Médio. [s.l.] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2014

NUSSENZVEIG, H. Moysés. Curso de física básica: eletromagnetismo. Edgard Blucher, 2001.

PASQUALETTO, Terrimar Ignacio. Ensino de física no 9º ano: uma proposta metodológica com projetos desenvolvidos a partir de situações-problema. 2011.

PRESTES, Zoia Ribeiro. Quando não é a mesma coisa: análise de traduções de Lev Semionovitch Vigotski no Brasil: repercussões no campo educacional. 2010.

RABELLO, Elaine T.; PASSOS, José Silveira. Vygotsky e o desenvolvimento humano. Formato do arquivo: Microsoft Powerpoint-Visualização rápida. [www. ceesp. com. br/arquivos/Aula](http://www.ceesp.com.br/arquivos/Aula), v. 205, n. 20, p. 20, 2010.

ROCHA, José Fernando Moura. O conceito de “campo” em sala de aula-uma abordagem histórico-conceitual. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 31, n. 1, p. 1604, 2009.

SASSERON, L.H. Alfabetização Científica, Ensino por Investigação e Argumentação: Relações entre Ciências da Natureza e Escola. *Revista Ensaio*. Belo Horizonte. V.17 n.especial, 2015, p. 49-67

SASSERON, Lúcia Helena. Alfabetização científica e documentos oficiais brasileiros: um diálogo na estruturação do ensino de física. São Paulo: Cengage Learning, 2010.

SCHIEL, Dietrich. Mapeamento de campos eletrostáticos em uma cuba eletrolítica, *Revista Brasileira de Ensino de Física*, v. 1, n. 1, p. 6-13, 1979.

SESTARI, Fabiane Beatriz. A construção e apropriação do conhecimento através da interação discente e di-docente em projetos experimentais no ensino de física. 2012.

SILVA, LH de A.; ZANON, Lenir Basso. A experimentação no ensino de ciências. SCHNETZLER, RP; ARAGÃO, RMR *Ensino de Ciências: Fundamentos e Abordagens*. Piracicaba: CAPES/UNIMEP, p. 120-153, 2000.

SUART, Rita de Cássia; MARCONDES, Maria Eunice Ribeiro; LAMAS, Maria Fernanda Penteado. A estratégia “Laboratório Aberto” para a construção do conceito de temperatura de ebulição e a manifestação de habilidades cognitivas. *Química Nova na escola*, v. 32, n. 3, p. 200-207, 2010.

TEIXEIRA, C. B. Utilização do chuveiro elétrico no ensino de conceitos básicos de eletrodinâmica: uma proposta de ensino potencialmente significativa. [s.l.] Universidade de Brasília, 2016.

TORRES, Patrícia Lupion; IRALA, Esrom Adriano F. Aprendizagem colaborativa. Algumas vias para entretecer o pensar e o agir. Curitiba: SENAR-PR, p. 65-98, 2007.

TORT, Alexandre C.; CUNHA, Alexander M.; ASSIS, André KT. Uma tradução comentada de um texto de Maxwell sobre a ação a distância. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 26, n. 3, p. 273-282, 2004.

VYGOTSKY, Lev Semyonovitch. A formação social da mente. São Paulo, v. 3, 2010.

WIERSEMA, Nico. How does Collaborative Learning actually work in a classroom and how do students react to it. A brief reflection, p. 1-10, 2000.

WILSEK, Marilei Aparecida Gionedis; TOSIN, João Angelo Pucci. Ensinar e aprender ciências no ensino fundamental com atividades investigativas através da resolução de problemas. Estado do Paraná, v. 3, n. 5, p. 1686-8, 2012.

ZOMPERO, Andreia Freitas; LABURÚ, Carlos Eduardo. Atividades investigativas no ensino de ciências: aspectos históricos e diferentes abordagens. Ensaio Pesquisa em Educação em Ciências, v. 13, n. 3, p. 67, 2011.