

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS CAMPO MOURÃO

LUCIANE SANT'ANA

**UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB E DA LEI DE
GAUSS NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

CAMPO MOURÃO
2020

LUCIANE SANT'ANA

**UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB E DA LEI DE
GAUSS NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling

CAMPO MOURÃO
2020

TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação e o seu respectivo Produto Educacional estão licenciados sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, California 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

Sant'Ana, Luciane

Uma alternativa para o ensino da Lei de Coulomb e da Lei de Gauss na educação básica/ Luciane Sant'Ana. – Campo Mourão, 2020.
1 arquivo de texto (220 f): PDF; 3,6 MB.

Orientador: Cesar Vanderlei Deimling
Dissertação (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física, Campo Mourão, 2020.
Inclui bibliografia: f. 115-119

1. Lei de Coulomb. 2. Lei de Gauss. 3. Ensino de Física – Dissertações. I. Deimling, Cesar Vanderlei, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física. III. Título.

CDD (22.ed.) 530.07

Biblioteca da UTFPR - Câmpus Campo Mourão

Bibliotecária/Documentalista:
Andréia Del Conte de Paiva – CRB-9/1525

TERMO DE APROVAÇÃO

Título da dissertação:

UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB E DA LEI DE GAUSS NA EDUCAÇÃO BÁSICA

Luciane Sant'Ana

Esta dissertação foi apresentada dia 08 de junho de 2020, às 14h00min. como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENSINO DE FÍSICA, do Programa de Mestrado Profissional em Ensino de Física do Departamento de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - Campo Mourão - Polo 32 do MNPEF - SBF. O (a) candidato (a) foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação a banca examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. Ivan Marcelo Laczkowski
Universidade Tecnológica Federal do Paraná -
UTFPR

Prof. Dr. César Henrique Lenzi
Instituto Tecnológico da Aeronáutica- ITA

Dedico este trabalho primeiramente a **Deus** que sou eternamente grata pela minha vida. Obrigada meu Deus por Tua infinita bondade! Pelas oportunidades até aqui vencidas. Que sua luz continue me abençoando e me conduzindo para um melhor discernimento em todas as decisões que precisam ser tomadas. Deus é fiel.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela honra da existência e companhia nas horas de aflição. Que com a sua infinita misericórdia e amor tem sempre mostrado os caminhos de minha vida.

À minha mãe, Sra. Terezinha Krulikowski Sant'Ana e ao meu pai Sr. Wilson Arruda Sant'Ana (in memoriam), pelo incentivo aos estudos.

Aos filhos amados, Wilson Gabriel Morais e Joilson Daniel Morais, pelo incentivo e compreensão nos momentos de ausência.

Ao Orientador Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling, pela paciência, conselhos, ensinamentos e contribuições nas mudanças significativas na profissão e para a vida.

Ao Coordenador do Curso, Prof. Dr. Michel Corci Batista, pelo apoio, incentivo e motivação.

A minha irmã Michele de Fátima Sant'Ana, pelos valiosos aconselhamentos, paciência, acreditar que conseguiria concluir essa etapa, sempre me apoiando e incentivando nos momentos de dificuldades.

Ao cunhado Alan Johnny de Souza Machado, por ser vibrante e incentivador.

Ao padrasto Pedro Pereira Campos, por acreditar nos meus estudos.

À prima Marli Wichoski Nunes, por acreditar que chegaria até o fim desses estudos.

As amigas Roselei Gundes Dias, Vera Lucia Oliveira e Ana Lucia Beckenkamp, que se fizeram presentes nos momentos de alegrias e tristezas, sempre incentivando na função de professora e nos estudos do mestrado.

Aos afilhados e afilhadas, compadres e comadres, tios e tias, primos, primas e avó, por sempre terem uma palavra de incentivo.

Aos companheiros: Prof. João Alfredo Pereira Neto e Prof^ª Rosane Jankowski, que fizeram parte desta caminhada, muitas risadas, desafios e acreditaram na superação das dificuldades neste curso de mestrado.

Ao amigo Marcelo Batista Maia, que sempre se faz presente nos momentos felizes e tristes, sempre disposto a ajudar, abandonando sua própria vida para auxiliar a todos, sem medir esforços.

A(o)s professor(a)s, diretor(a)s, pedagogo(a)s e secretário(a)s dos Colégios Estaduais do município de São Pedro do Iguaçu e Toledo, pela disposição contínua em contribuir com este trabalho.

Aos membros da banca, Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling, Prof. Dr. Ivan Marcelo Laczkowski e Prof. Dr. César Henrique Lenzi, pela leitura e apreciação deste trabalho.

À Sociedade Brasileira de Ensino de Física (SBF), pela realização do Mestrado Nacional em Ensino.

Aos professores deste curso (MNPEF) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Campo Mourão, pela postura acolhedora e difusora de ensino em nível de excelência.

À CAPES, pelo apoio financeiro prestado através da bolsa.

Aos docentes e colegas do programa Mestrado Nacional em Ensino de Física, pelas alegrias, frustrações e vitórias compartilhadas.

Aos nossos amáveis estudantes, pelo apoio e cumplicidade durante a aplicação dessa proposta de ensino.

Aos amigos e amigas, que apoiaram nesta caminhada.

Aos que não foram citados, mas que ajudaram a alcançar este objetivo.

“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original”.

Albert Einstein

Sant'Ana, Luciane. **Uma alternativa para o Ensino da Lei de Coulomb e da Lei de Gauss na Educação Básica**: 2020. 219 fls. Dissertação (Mestrado Profissional De Ensino De Física) – Universidade Tecnológica Federal Do Paraná, Campo Mourão, 2020.

RESUMO

Este trabalho visa apresentar, desenvolver e discutir uma proposta para o ensino do conteúdo Lei de Coulomb e Lei de Gauss na disciplina de Física, aplicado na Educação Básica. Para tanto, utilizou-se diferentes estratégias de ensino, objetivando favorecer e facilitar o processo de ensino aprendizagem com aulas interativas e motivadoras, relacionando o conteúdo com aplicações no cotidiano do educando. Trata-se de uma pesquisa de Mestrado Profissional, conduzida no Programa de Pós-Graduação em Ensino de Física da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campo Mourão (UTFPR-CM), em parceria com a Sociedade Brasileira de Física (SBF). Tendo em vista as características desta pesquisa, usou-se como referencial teórico-metodológico a Pedagogia Histórico-Crítica (SAVIANI, 1992), que visa, dentre outros aspectos, contribuir para apropriação dos conhecimentos historicamente produzidos por todos, indistintamente, dando especial atenção à classe trabalhadora, majoritariamente atendida pela rede pública. Iniciou-se a pesquisa realizando um levantamento bibliográfico das principais obras sobre o tema, a fim de identificar um panorama atual sobre as contribuições científicas sobre o conteúdo. Considerando os dados obtidos dessa revisão, em um segundo momento, tendo em vista auxiliar e aprofundar as discussões, desenvolveu-se uma pesquisa-intervenção de abordagem qualitativa com três turmas do 3º ano do Ensino Médio nos Colégios Estaduais pertencentes ao Núcleo Regional de Educação de Toledo - Paraná, nos períodos matutino, vespertino e noturno, abrangendo um total de 61 alunos. Para tanto, foi elaborado um material paradidático utilizando recursos de baixo custo que está detalhado no produto educacional. Este produto está estruturado na forma de um Plano de Unidade, que apresenta o conteúdo fazendo uso de recursos, tais como um simulador, atividades teórico-práticas, resolução de problemas, trazendo conceitos científicos aplicados aos fenômenos físicos manifestados na vivência do cotidiano do educando. Diante das atividades aplicadas, pode-se afirmar que os resultados alcançados foram satisfatórios, no qual houve envolvimento dos educandos e assimilação dos conceitos no ensino aprendido, relacionado com aplicações do cotidiano deles. Também se teve por intenção oferecer aos professores e estudantes uma alternativa diferenciada, simples, coerente e de investigação na abordagem dos conteúdos de Lei de Coulomb e da Lei de Gauss no Ensino Médio.

Palavras-chave: Ensino de Física. Lei de Coulomb. Lei de Gauss. Educação Básica.

Sant'Ana, Luciane. **An Alternative for Teaching Coulomb's Law and Gauss's Law in Basic Education**: 2020. 219 fls. Dissertation (Professional Master of Physics Teaching) - Federal Technological University of Paraná, Campo Mourão, 2020.

ABSTRACT

This work aims to present, develop and discuss a proposal for teaching the content Coulomb's Law and Gauss's Law in the discipline of Physics, applied in Basic Education. For that, different teaching strategies were used, aiming to favor and facilitate the teaching-learning process with interactive and motivating classes, relating the content to applications in the student's daily life. This is a professional Master's research, conducted in the Graduate Program in Physics Teaching at the Federal Technological University of Paraná - Campo Mourão (UTFPR-CM), in partnership with the Brazilian Physics Society (SBF). In view of the characteristics of this research, Historical-Critical Pedagogy (SAVIANI, 1992) was used as a theoretical-methodological framework, which aims, among other aspects, to contribute to the appropriation of the knowledge historically produced by all, indistinctly, paying special attention to working class, mostly served by the public network. The research was initiated by conducting a bibliographic survey of the main works on the subject, in order to identify a current panorama on the scientific contributions on the content. Considering the data obtained from this review, in a second step, in order to assist and deepen the discussions, a research-intervention of qualitative approach was developed with three classes of the 3rd year of High School in State Schools belonging to the Regional Education Center of Toledo - Paraná, in the morning, afternoon and evening periods, covering a total of 61 students. For that, a paradigmical material was elaborated using low cost resources that are detailed in the educational product. This product is structured in the form of a Unit Plan, which presents the content using resources, such as a simulator, theoretical-practical activities, problem solving, bringing scientific concepts applied to the physical phenomena manifested in the student's daily experience. In view of the applied activities, it can be said that the results achieved were satisfactory, in which there was involvement of students and assimilation of concepts in teaching and learning, related to their everyday applications. It was also intended to offer teachers and students a differentiated, simple, coherent and investigative alternative in approaching the contents of Coulomb's Law and Gauss's Law in High School.

Keywords: Physics teaching. Coulomb's law. Gauss's law. Basic education.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Série Triboelétrica.....	43
Figura 2: Etapas envolvidas na eletrização por indução. Em (1) o indutor B é aproximado da esfera A, que em (2) está aterrada permitindo que elétrons neutralizem as cargas positivas induzidas, restando apenas cargas negativas ao final do processo (3).	44
Figura 3: Esquema ilustrando a polarização de um material isolante.	45
Figura 4: Orientação da força elétrica.	47
Figura 5: Força elétrica entre esferas carregadas.....	48
Figura 6: Força elétrica nula quando a partícula carregada está localizada no interior de uma casca esférica.	48
Figura 7: Força elétrica em uma partícula carregada q_2 , localizada no interior de uma casca esférica isolante.	49
Figura 8: Definição de campo elétrico	50
Figura 9: Representação esquemática da soma de vetores – Lei dos Cossenos	51
Figura 10: Representação esquemática de vetores no plano cartesiano	52
Figura 11: Representação da distribuição de cargas com forma de anel.....	54
Figura 12: Imagem de uma simulação do vetor campo elétrico gerado por uma distribuição de cargas contínua e homogênea em um anel	58
Figura 13: Representação do fluxo elétrico em diferentes superfícies. a) Representa o fluxo elétrico uniforme fazendo ângulo θ com a área A. b) representa o fluxo em uma superfície fechada, negativo quando entra na superfície e positivo quando sai.	60
Figura 14: Representação da superfície gaussiana para uma partícula carregada. .	62
Figura 15: Representação da superfície gaussiana interna a uma esfera uniformemente carregada.	63
Figura 16: Representação da superfície gaussiana para uma linha infinita de cargas.	64
Figura 17: Representação da superfície gaussiana para plano infinito de cargas. ...	65
Figura 18: Representação da superfície gaussiana para plano infinito condutor e espesso de cargas.	66
Figura 19: Representação da blindagem eletromagnética em condutores.	67
Figura 20: A força elétrica: atração e repulsão	94

Figura 21: O cabo de guerra eletrostático	97
Figura 22: Eletroscópio	97
Figura 23: Blindagem Eletrostática	98
Figura 24: Gaiola de Faraday: blindagem eletrostática.....	99
Figura 25: Blindagem eletrostática em telefone celular	99
Figura 26: Alunos usando o simulador no laboratório de informática	100

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Levantamento bibliográfico.....	24
Quadro 2: Representação esquemática de algumas distribuições de cargas elétricas, suas equações e limitações para o uso.	56
Quadro 3: Tópico de Análise 1	75
Quadro 4: Tópico de Análise 2	75
Quadro 5: Tópico de Análise 3	75
Quadro 6: Tópico de Análise 4	76
Quadro 7: Tópico de Análise 5	76
Quadro 8: Tópico de Análise 6	77
Quadro 9: Primeira questão – Questionário Inicial	80
Quadro 10: Segunda questão – Questionário Inicial – A) Qual é a carga positiva, a negativa e a neutra?.....	81
Quadro 11: Segunda questão – Questionário Inicial – B) Qual carga faz parte do núcleo do átomo?.....	82
Quadro 12: Segunda questão – Questionário Inicial – C) Qual carga que é removida ou fornecida nos processos envolvendo eletrização?	82
Quadro 13: Terceira questão – Questionário Inicial	83
Quadro 14: Quarta questão – Questionário Inicial	84
Quadro 15: Quarta questão – Questionário Inicial	84
Quadro 16: Quarta questão – Questionário Inicial	84
Quadro 17: Quinta questão – Questionário Inicial.....	85
Quadro 18: Sexta questão – Questionário Inicial	86
Quadro 19: Sexta questão – Questionário Inicial	86
Quadro 20: Sétima questão – Questionário Inicial	87
Quadro 21: Sétima questão – Questionário Inicial	87
Quadro 22: Oitava questão – Questionário Inicial.....	88
Quadro 23: Oitava questão – Questionário Inicial.....	88
Quadro 24: Nona questão– Questionário Inicial.....	89
Quadro 25: Décima questão – Questionário Inicial	90
Quadro 26: Relatos sobre atividades experimentais	101
Quadro 27: Primeira questão – Questionário Final	104
Quadro 28: Segunda questão – Questionário Final	104

Quadro 29: Terceira questão – Questionário Final.....	105
Quadro 30: Quarta questão – Questionário Final.....	106
Quadro 31: Quinta questão – Questionário Final	107
Quadro 32: Sexta questão – Questionário Final.....	107
Quadro 33: Sétima questão – Questionário Final.....	108
Quadro 34: Oitava questão – Questionário Final	109
Quadro 35: Nona questão – Questionário Final	109
Quadro 36: Relatório – Questionário Final	111

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 DOCUMENTOS NORTEADORES PARA O ENSINO DE FÍSICA – ELETROSTÁTICA.....	21
2.2 O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CRÍTICA.....	30
2.3 A FORÇA E O CAMPO ELÉTRICO.....	37
2.3.1 Carga Elétrica.....	39
2.3.2 Lei de Coulomb	45
2.3.3 Campo Elétrico.....	49
2.3.4 Lei de Gauss	59
3 MÉTODO E PROCEDIMENTOS	69
3.1 PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DOS DADOS.....	70
3.2 PERFIS DAS ESCOLAS E DAS TURMAS ENVOLVIDAS.....	71
3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS.....	73
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	78
4.1 PARTINDO DA PRÁTICA SOCIAL INICIAL: A CARGA ELÉTRICA.....	79
4.2 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: A CARGA ELÉTRICA.....	92
4.3 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: A LEI DE COULOMB.....	95
4.4 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: O CAMPO ELÉTRICO.....	98
4.5 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: A LEI DE GAUSS.....	100
4.6 RETORNANDO À PRÁTICA SOCIAL FINAL.....	102
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	113
REFERÊNCIAS	115
APÊNDICE A: Plano de Unidade	120
APÊNDICE B: Termo De Consentimento Livre Esclarecido	214
APÊNDICE C: Questionário Inicial	216
APÊNDICE D: Questionário Final	218

1 INTRODUÇÃO

Conforme descrito nas DCEs (Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Estado do Paraná) de Física (PARANÁ, 2008), é necessário considerar os diversos fatores que façam parte do processo de ensino-aprendizagem, como por exemplo: o conhecimento prévio trazido pelos alunos, a experimentação como prática e o uso de abordagem pedagógica entre educandos e professores que proporcionem uma interação mais satisfatória, além do uso apropriado da linguagem matemática de tal forma que seja possível garantir a compreensão e a socialização com os alunos para que ocorra a apropriação do conhecimento dos aspectos conceituais e científicos da área em questão. Desta forma, para que isto seja possível, faz-se necessário a compreensão do atual cenário da Educação Básica em nosso país e as dificuldades e enfrentamentos dos conteúdos relacionados à Física diante deste contexto.

De relevância conhecida na literatura científica, os debates sobre os enfrentamentos e problemas no ensino de Física no Brasil destacados por pesquisadores como: (BACHELARD, 1996; BORGES, 1999; OSTERMANN e MOREIRA, 2000; CARVALHO e ZANETIC, 2004) têm apontado dificuldades como ementas demasiadamente extensas frente ao tempo destinado às atividades com os estudantes, a falta de recursos físicos, de valorização da carreira docente, poucos recursos financeiros para manutenção dos insumos necessários para o desenvolvimento de atividades, além da ausência de uma formação específica dos professores que lecionam esta disciplina, especialmente nas redes públicas de ensino.

Dessa forma, além de todos os problemas citados acima, chama-se a atenção para a dicotomia existente e visível entre a prática e a teoria, no processo de ensino-aprendizagem, conhecimento empírico e o científico e em especial por que em muitos momentos os conteúdos de Física são apresentados de maneira desconexa, fazendo com que os estudantes apresentem diversas dificuldades em relacionar os conteúdos curriculares estudados à sua realidade cotidiana.

Buscando refletir sobre alguns desses aspectos, entende-se que se tornam importantes e necessárias as ações que contribuam verdadeiramente para a minimização dessas dificuldades apontadas, embora não as supere completamente, uma vez que, sendo um problema conjuntural, sua superação também requer ações

conjuntas e sistemáticas, pelo menos, tenta-se diminuir suas ocorrências. Diante disso, entende-se que a forma como os conteúdos são abordados em sala de aula, tanto no ensino de Física quanto em outras áreas do conhecimento, interferem diretamente na qualidade do processo de ensino-aprendizagem. Destaca-se, portanto, que os conteúdos foco deste trabalho: “Lei de Coulomb e a Lei de Gauss”, inseridos no currículo de Física da Educação Básica, segundo os autores pesquisados: como Deboer (2006), Sherin et al (2006) entre outros, necessitam de um grande rigor matemático e, costumeiramente, são fortemente abordados em seus aspectos teóricos com poucas atividades práticas e sem a adequada articulação com a realidade social, conforme segue:

O ensino de Ciências e Matemática ainda se apoia demasiadamente, para não dizer somente, na aprendizagem mecânica de “fórmulas”, equações matemáticas, procedimentos, na resolução mecânica de problemas e na manipulação mecânica de símbolos. Com isto, ocorre uma ausência de ideias, informações e conhecimentos claros e estáveis que possam servir de subsunçores para a aprendizagem dos conteúdos escolares. Logo, não resta aos estudantes outra opção, além de decorar exercícios e expressões matemáticas para obterem êxito nas provas. (AUSUBEL et al., 1980, p. 160; AUSUBEL, 1960, p. 270).

Acredita-se, portanto, que na abordagem desses conteúdos em sala de aula podem ser utilizadas muitas ações didático-pedagógicas e dentre elas destaca-se: a experimentação, as atividades lúdico-pedagógicas, a utilização de diferentes gêneros textuais, a exposição oral dialogada, os mapas conceituais, as dinâmicas de grupo, os debates, entre outros.

Com relação à experimentação e atividades práticas, Monteiro (2005) frisa “sua importância enquanto estratégia de ensino, que pode favorecer a relação dialética entre teoria e prática, possibilitando uma maior motivação e interesse nos alunos para a aprendizagem”.

Para Cavalcante e Silva (2008, p.01), através da experimentação, este modelo didático conduz os estudantes a relacionar teoria (leis, princípios, etc.) e a prática (trabalhos experimentais). Isto lhes propiciará condições para o desenvolvimento de habilidades, compreensão das teorias, competências e atitudes, contribuindo, também, para reflexões sobre a realidade do mundo em que vivem.

Entende-se que os recursos mencionados anteriormente contribuem e incentivam o desenvolvimento de uma melhor compreensão no ensino aprendizagem, de forma que os conhecimentos científicos relacionados com as

situações cotidianas estejam articulados, sejam ferramentas capazes de contribuir para a reelaboração, aplicação e utilização de tais conteúdos na prática, bem como revalidar e confirmar a sua relevância.

Nesse sentido, este trabalho apresenta diversas estratégias que foram integradas e utilizadas com o objetivo de favorecer e facilitar o processo de ensino aprendizagem, com aulas interativas e motivadoras, voltado para os conteúdos de força elétrica e campo elétrico no ensino de Física, conforme consta no produto educacional (apêndice A). As Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Ensino de Física (PARANÁ, 2008), também destacam a necessidade de trabalhar os conceitos estudados, a partir do contexto da realidade dos educandos. Sendo assim, o presente estudo teve como objetivo apresentar, desenvolver e discutir como os educandos compreendem os conteúdos de força elétrica e campo elétrico a partir da sua realidade.

Segundo Oliveira (2019), ao refletir sobre a maneira como os professores estão trabalhando a Física em sala de aula, muitos são os problemas que podem influenciar e dificultar o acesso e a compreensão dos conteúdos pelos educandos:

“o arcabouço cultural construído e acumulado pela humanidade ao longo da história, os objetivos educacionais, a formação docente, as leis, diretrizes e bases curriculares nacionais, os recursos humanos e materiais disponíveis na instituição escolar, as condições objetivas e subjetivas de trabalho, as avaliações nacionais e internacionais da educação básica, entre outros. Apesar de todos esses fatores, a escolha dos conteúdos curriculares tem se pautado, quase que exclusivamente, nos índices de desempenho apresentados pelos estudantes em avaliações nacionais e internacionais da educação básica, as quais, muitas vezes, não consideram as condições precárias de trabalho enfrentadas pelos profissionais da educação nas escolas, especialmente da rede pública.” (OLIVEIRA, 2019, p. 11-12)

De acordo com os dados fornecidos pela Secretaria de Estado da Educação do Paraná, na INSTRUÇÃO Nº 04/2005 - SEED/SUED, atualmente, na rede pública de ensino, o tempo destinado as aulas de Física varia de duas a três horas/aula semanais. Diante desse cenário desfavorável, que ocorre um aparente descaso das autoridades governamentais em relação à valorização social e financeira do professor, também é encontrado indícios do esvaziamento curricular das disciplinas de Física da Educação Básica, trazendo os conteúdos de maneira fragmentada, muitas vezes descontextualizadas de seus pré-requisitos. Desta maneira, acredita-se na necessidade do desenvolvimento de propostas de intervenções pedagógicas que proporcionem a superação de tais enfrentamentos, levando em consideração os

aspectos histórico-sociais, a realidade na qual, tanto professor quanto alunos estão inseridos, pois, como a disciplina de Física conta com uma carga horária reduzida no currículo do Ensino Médio, faz-se necessário trazer contribuições dentro dessa realidade.

Acredita-se, enquanto profissionais da educação que, o trabalho na disciplina de Física e também em outras áreas do conhecimento nas escolas de Educação Básica, apresentam desafios que precisam ser enfrentados, como por exemplo, um trabalho pedagógico que aponte na direção da totalidade do conhecimento e sua relação com o cotidiano, articulando a teoria com a prática. Pensando nos desafios atuais, é preciso compreender “a escola como o espaço do confronto e diálogo entre os conhecimentos sistematizados e os conhecimentos do cotidiano popular. Essas são as fontes sócio-históricas do conhecimento em sua complexidade”. (PARANÁ, 2008, p. 21)

A proposta educativa para que o ensino de Física, efetivamente aconteça entre teoria e prática, continua sendo um dos grandes desafios enfrentados na formação discente, pois é necessário compreender que teoria e prática se fazem juntas, aprimorando o desenvolvimento intelectual na construção de conhecimento e sua capacidade de transformação nas práticas sociais.

Fundamentalmente, o professor procura levar seus alunos a compreenderem que:

A Física não se limita à história de seus protagonistas. Antes ao contrário: é uma história do pensamento em que idéias surgem e desaparecem em que pensamentos, diversas vezes completamente despropositados na época em que apareceram, tomam forma e ultrapassam as barreiras profissionais contemporâneas. Não aquela Física em geral apresentada nos colégios, uma caricatura muito mal elaborada e, para o físico, meramente anacrônica. (BEM-DOV, 1996, p.7).

No entanto, é preciso compartilhar a forma como são abordados os fenômenos físicos. Diante disso, para descrever os fenômenos físicos, faz-se necessário procurar dominar as ferramentas que são utilizadas, aprender a pesquisar e compreender os conceitos existentes, levar o estudante a demonstrar um avanço efetivo no domínio dos conceitos e dos fenômenos científicos.

Na década de 60, o ensino de Ciências passou a ser extremamente valorizado no Brasil, baseado no método científico, que dentre outras coisas, leva os alunos a seguir uma sequência de etapas: fazer observação, problematizar, formular

hipóteses, testar o experimento e se certificar do conhecimento. Essa discussão no Brasil foi direcionada pelos Parâmetros Curriculares Nacionais (PCNs).

Segundo os PCNs (BRASIL, 2006):

"As propostas para renovação do ensino de Ciências Naturais orientavam-se para um movimento chamado Escola Nova, onde as tendências deslocavam-se da questão pedagógica dos aspectos puramente lógicos para aspectos psicológicos, valorizando a participação ativa dos estudantes no processo de aprendizagem. As atividades práticas passaram a representar importante elemento para a compreensão ativa de conceitos, mesmo que sua implementação prática tenha sido difícil, em escala nacional."

Trabalhos como o de Santos (2001) e Gil et al.(2002) destacam a passagem da concepção de ensino de ciência pura para a concepção de Ciência/Tecnologia e Sociedade – CTS, isto é, não se pode conceber atualmente o ensino de Ciências sem que este esteja vinculado às discussões sobre os aspectos tecnológicos e sociais que essa ciência traz na modificação de nossas sociedades. Os Parâmetros Curriculares Nacionais alertam aos professores que o simples fato de realizar a atividade, não significa que o aluno irá construir o conhecimento. Assim, fica claro que o estudo da Física acaba envolvendo estratégias de raciocínio matemático, percepções e conceitos das ciências, além da busca pelo conhecimento, que é campo da Filosofia.

Conforme as Diretrizes Curriculares de Física (PARANÁ, 2008, p.57), os conteúdos estruturantes da Física são divididos em: movimento, termodinâmica e eletromagnetismo. Embora esses conteúdos sejam bastante extensos e amplos, é sobre o terceiro deles que a presente pesquisa está inserida. Como se há de verificar, elencar os conteúdos estruturantes de uma disciplina é imprescindível para o bom trabalho didático com a mesma. Segundo as DCEs (2008):

Em cada conteúdo estruturante estão presentes ideias, conceitos e definições, princípios, leis e modelos físicos, que constituem como uma teoria. Desses estruturantes derivam os conteúdos que comporão as propostas pedagógicas curriculares das escolas. (PARANÁ, 2008, p. 57).

Elencando o conteúdo estruturante, o profissional da educação poderá definir seu trabalho pedagógico, o que é importante, além da forma como desenvolver esse objetivo em sala de aula. Na prática, possibilitar o domínio dos conteúdos estruturantes de uma disciplina é permitir ao educando agir e redefinir uma prática

social.

Neste sentido, o produto neste trabalho é composto por um plano de unidade (apêndice A) que detalha atividades teórico-práticas, podendo ser desenvolvidas com materiais de baixo custo, além de um questionário – aplicado nos momentos iniciais e finais da intervenção – que objetivou inicialmente avaliar qual a compreensão do estudante sobre o assunto, e no momento final da intervenção, identificar se o aprendizado do aluno foi satisfatório e quais lacunas ainda merecem atenção. Neste questionário, além dos fenômenos relacionados ao conteúdo, avalia-se os pré-requisitos relacionados com a Lei de Coulomb e a Lei de Gauss, focos deste estudo. O conteúdo disposto no plano de unidade contou com atividades teórico-práticas, confeccionadas a partir de materiais de fácil acesso para o professor e aluno, bem como o simulador *Schanpsidee*¹, que serviram para abordar conteúdos relacionados com o tema: Lei de Coulomb e Lei de Gauss.

Nas Diretrizes Curriculares Estaduais do Paraná (DCEs), uma das bases teóricas fundamenta-se na Pedagogia Histórico-Crítica, teoria desenvolvida a partir dos estudos de Saviani, que propõe dentre outras coisas que a incursão no desconhecido, só pode ser feita a partir do que se conhece:

Trata-se, antes, da própria consciência da historicidade humana, isto é, a percepção de que o presente se enraíza no passado e se projeta no futuro. Portanto, não podemos compreender radicalmente o presente se não compreender as suas raízes, o que explica o estudo de sua gênese. (SAVIANI, 2008, p.4)

Pensando em uma apresentação adequada, organizou-se este trabalho da seguinte maneira: no primeiro capítulo, apresenta-se a introdução que contemplam os motivos para a escolha do tema, no capítulo segundo, descreve-se a fundamentação teórica e revisão da literatura, apresenta-se os conteúdos, a revisão bibliográfica das contribuições científicas sobre o tema, o referencial teórico na perspectiva Histórico-Crítica e o ensino de Física. No capítulo terceiro, denominado métodos e procedimentos, há alguns esclarecimentos sobre a quantidade de aulas, alunos, turno e colégios em que foi realizada a coleta e análise de dados, além de como a pesquisa foi desenvolvida. No capítulo quarto, intitulado resultados e discussões, buscou-se apresentar as contribuições e os limites deste estudo à luz do referencial teórico adotado. Enfim, no quinto e último capítulo, há a descrição das

¹Disponível em <https://lohmandouglas.github.io/schanpsidee/#pt>. Acesso em 18 de Abril de 2020.

considerações finais referentes à implementação do Produto Educacional.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 DOCUMENTOS NORTEADORES PARA O ENSINO DE FÍSICA – ELETROSTÁTICA.

Inicialmente, com o objetivo de caracterizar o estado da arte do problema proposto, foi realizada uma revisão bibliográfica nas principais bases de dados, visando entender como os livros didáticos, os documentos oficiais e pesquisas têm tratado ensino dos conteúdos que envolvem a Lei de Coulomb e Lei de Gauss, ou seja, a força elétrica, o campo elétrico e os seus pré-requisitos. Encontramos registro destes conteúdos nos documentos oficiais nacionais, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs), ressaltando sua necessidade e relevância para a formação mais ampla do cidadão, muito embora os livros sugeridos pelo núcleo regional de ensino e os documentos estaduais norteadores, como exemplo, as Diretrizes Curriculares da Educação Básica do Paraná (DCEs), não tratam destes conteúdos com o devido rigor, necessitando de um olhar cauteloso.

Partindo da eletrostática, definida pelo campo de estudo das cargas elétricas em repouso, analisou-se os conceitos de força elétrica e campo elétrico a partir de diferentes estratégias de ensino, sejam elas compostas por experimentos envolvendo materiais de baixo custo, situações problema, ou até mesmo a partir de fenômenos relacionados ao cotidiano do aluno.

Silva (2011) afirma que o ensino da eletrostática segue o padrão dos livros didáticos de forma esporádica e superficial, com poucas propostas de experimentos como se verifica abaixo:

O ensino da Eletrostática no nível médio segue um padrão estabelecido nos livros didáticos; numa sequência em que apenas esporadicamente, ou em alguns casos nos finais dos capítulos, é que temos a proposta de experimentos e tiras rápidas falando sobre o desenvolvimento histórico do tema, sendo que o assunto é disposto de forma geral, sem o direcionamento específico para o tema tratado no capítulo vigente. (SILVA, 2011, p.99).

Dando sequência, o conteúdo de eletrostática deve ser desenvolvido a partir das aplicações práticas da eletricidade, como por exemplo, o funcionamento de máquinas conhecidas, utilizadas no cotidiano, por meio de demonstrações de situações práticas que podem levar o educando a compreender, de maneira mais ampla, os

conceitos sobre as eletrizações, materiais condutores e isolantes, prevenção de descargas elétricas oriundas de tempestades, blindagem eletrostática, entre outros fenômenos que estão envolvidos em diferentes situações do cotidiano do educando, de forma a evitar o ensino fragmentado e reprodutivo, como sugere as PCNs:

Devem-se evitar oferecer aos alunos conteúdos específicos fragmentados ou, em muitos casos, técnicas de resolução de exercícios, já que o retorno será isso mesmo: conteúdos reprodutivos, na melhor das hipóteses, de pouca utilidade fora dos bancos escolares. (BRASIL, 2006, p.47)

Além disso, os PCNs também destacam a importância da inserção dos conteúdos que relacionam a tecnologia em seus diferentes aspectos, como estratégia facilitadora do processo de ensino-aprendizagem, visando à aproximação entre o educando e os fenômenos que governam os aparelhos elétricos e eletrônicos.

A tecnologia merece atenção especial, pois aparece nos Parâmetros Curriculares como parte integrante da área das Ciências da Natureza. Observa-se que nos livros didáticos os conteúdos disciplinares selecionados e trabalhados pouco têm a ver com a tecnologia atual, ficando essa, na maioria das vezes, como simples ilustração. Deve-se tratar a tecnologia como atividade humana em seus aspectos prático e social, com vistas à solução de problemas concretos. Mas isso não significa desconsiderar a base científica envolvida no processo de compreensão e construção dos produtos tecnológicos. (BRASIL, 2006, p. 46)

Os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs), destacam que os saberes específicos da Física são adequados quando forem tomados como inacabados, ou seja, passam a “ser entendidos como um instrumento para a compreensão do mundo” (BRASIL, 2006). Neste sentido, os Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs), sugerem como estratégia de ensino, as ações pedagógicas mais simplificadas, na tentativa de aproximar os conteúdos de Física, conforme a realidade do mundo vivenciado pelos educandos. Os PCNs afirmam que:

O desenvolvimento dos fenômenos elétricos e magnéticos, por exemplo, pode ser dirigido para a compreensão dos equipamentos eletromagnéticos que povoam nosso cotidiano, desde aqueles de uso doméstico aos geradores e motores de uso industrial, provendo competências para utilizá-los, dimensioná-los ou analisar condições de sua utilização. Ao mesmo tempo, esses mesmos fenômenos podem explicar os processos de transmissão de informações, desenvolvendo competências para lidar com as questões relacionadas às telecomunicações. Dessa forma, o sentido para o estudo da eletricidade pode ser organizado em torno aos equipamentos eletromagnéticos e telecomunicações. (BRASIL, 2006, p. 18).

Embora os documentos oficiais, as Diretrizes Curriculares da Educação Básica de Física (PARANÁ, 2008, p. 60) e os Parâmetros Curriculares Nacional do Ensino Médio (BRASIL, 2006, p. 26), indicarem, primeiramente, o ensino do eletromagnetismo, precisamos ter ciência que eles o abordam de forma muito genérica, tendo como principal fundamento as habilidades e as competências em detrimento da formação ampla, global e crítica dos estudantes, a partir dos conhecimentos científicos.

Dessa forma, para permitir o domínio de tais competências, o estudo da eletricidade deverá incluir conceitos e modelos da eletrodinâmica e do eletromagnetismo, possibilitando, por exemplo, compreender por que aparelhos que servem para aquecer, consomem mais energia do que aqueles utilizados para comunicação, além de compreender como dimensionar e executar pequenos projetos residenciais, ou ainda, como distinguir um gerador de um motor. Será também indispensável compreender de onde vem a energia elétrica que utilizamos e como ela se propaga no espaço. Nessa perspectiva, em que se procura conhecer a fenomenologia da eletricidade em situações reais, o estudo da eletrostática ganhará sentido quando em referência a situações concretas, como, por exemplo, para explicar o papel dos capacitores, a função dos para-raios ou os perigos de choques elétricos.

Pensando em diferentes dimensões do ensino de Física — conceitual, histórica, cultural, econômica, científica e social — e nos alunos do Ensino Médio, levando em consideração as mudanças estruturais que alteram a produção e a própria organização da sociedade, é necessário pensar em um currículo escolar adequado, pois:

O ensino dessa disciplina destina-se principalmente àqueles que não serão físicos e terão na escola uma das poucas oportunidades de acesso formal a esse conhecimento. Há de se reconhecer, então, dois aspectos do ensino da Física na escola: a Física como *cultura* e como possibilidade de compreensão do mundo. (BRASIL, 2006, p.53).

Segundo os PCNs, o ensino de Física, em nível médio, deve contribuir para a formação de uma cultura científica, permitindo ao cidadão a interpretação de fatos, fenômenos e processos naturais, para ser capaz de lidar com situações reais, crises de energia, problemas ambientais, manuais de aparelhos, concepções de universo,

exames médicos, notícias de jornal, dentre outros. Finalidades para o conhecimento a ser apreendido em Física, que não se reduzem apenas a uma dimensão pragmática, de um saber fazer imediato, mas que devem ser concebidas dentro de uma concepção humanista abrangente, de modo a fornecer o suporte necessário para a formação do cidadão que se quer ajudar a construir. (BRASIL, 2006, p. 46).

Diante do desinteresse dos alunos em relação às aulas expositivas, demonstrado, muitas vezes, por perguntas do tipo: “onde vou usar isso na minha vida?”, aliadas às precárias condições de trabalho e a desvalorização da carreira docente, tem-se um cenário que facilita a desmotivação e o desânimo do professor. Neste sentido, pensando na motivação e na melhoria das aulas ministradas, é importante considerar as mudanças nas práticas pedagógicas para um aprendizado mais eficaz. Considerando diferentes estratégias de ensino, ressaltam-se os estudos propostos pelo cientista da computação, Douglas Lohmann (2016)², o qual, por meio do simulador *Schanpsidee*, buscou explorar os conceitos envolvidos na força elétrica e campo elétrico, visando o significado das grandezas físicas, associadas ao conteúdo de eletrostática.

Objetivando conhecer o atual cenário das contribuições científicas, foram levantados os trabalhos desenvolvidos no período de 10 anos nas bases científicas acadêmicas, como artigos, teses e dissertações, encontrando um montante de 59 trabalhos (quadro 01) que abordam e se relacionam com o ensino de Física, mesmo que de maneira distante aos conceitos aplicados sobre a Lei de Coulomb.

Quadro 1: Levantamento bibliográfico

01	Unidades de ensino potencialmente significativas em teoria eletromagnética : influências na aprendizagem de alunos de graduação e uma proposta inicial de um campo conceitual para o conceito de campo eletromagnético http://hdl.handle.net/10183/119123
02	Ensinando o conceito de campo elétrico a partir do fenômeno do raio https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/7948
03	Eletricidade por meio de oficinas pedagógicas: contribuições da teoria sócio-interacionista http://www.teses.ufc.br/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=7684
04	O ensino de física com lousa digital: atividades lúdicas como ferramenta mediadora na aprendizagem http://www.athena.biblioteca.unesp.br/exlibris/bd/cathedra/30-05-2016/000865722.pdf
05	Limites e potencialidades do uso de tirinhas na significação de conceitos de física no ensino médio http://bibliodigital.unijui.edu.br:8080/xmlui/handle/123456789/1836
06	Modelo construtivista para criação de conhecimento em física

²LOHMANN, Douglas; Desenvolvimento e avaliação de um simulador para o ensino de Eletrostática. UTFPR, Campo Mourão/PR, 2016.

	http://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/82107
07	Um jogo de cartas : uma proposta de aprendizagem significativa para o ensino médio de conceitos relacionados à eletrização e a Lei de Coulomb http://ri.ufmt.br/handle/1/264
08	Campo elétrico fácil, fácil! Metodologia experimental para ensinar o conceito de campo elétrico no ensino médio http://editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD4_SA9_0_ID2070_13052016142923.pdf
09	Relatório sobre campo elétrico: http://editorarealize.com.br/revistas/conapesc/trabalhos/TRABALHO_EV058_MD4_SA9_0_ID2070_13052016142923.pdf
10	O conceito de campo no eletromagnetismo: uma unidade de ensino potencialmente significativa http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_9518_Dissertacao_Marcio_Oliveira_da_Rocha-vers%E3o%20final%20que%20foi%20para%20a%20biblioteca%20central.pdf
11	Concepções de interação física: subsídios para uma abordagem histórica do assunto no ensino médio http://www.ghtc.usp.br/server/Teses/Daniel-Gardelli.pdf
12	Desenvolvimento de uma atividade experimental de baixo custo para o estudo das superfícies equipotenciais entre placas planas e paralelas aplicada em duas turmas de Ensino Médio de uma escola pública federal atendida pelo PIBID http://periodicos.unespar.edu.br/index.php/ensinoepesquisa/article/view/665/0
13	Campo Elétrico Minado e o Ensino de Física: a simulação computacional e o jogo como recursos didáticos prope.unesp.br/cic/admin/ver_resumo.php
14	O uso de simuladores no ensino de Física: estudo da corrente induzida por meio de atividade investigativa. http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/handle/1843/BUBD-AGPMPG
15	A importância das simulações computacionais no trato das representações da eletrostática http://www.ppqecim.ulbra.br/teses/index.php/ppqecim/article/view/54
16	Simuladores computacionais para o ensino de física básica: uma discussão sobre produção e uso http://www.if.ufrj.br/~pef/producao_academica/dissertacoes/2010_Geraldo_Felipe/dissertacao_Geraldo_Felipe.pdf
17	Uso de simulações para o ensino de Física http://ensinodefisicauesc.blogspot.com.br/2010/07/hoje-ha-uma-grande-procura-por.htm
18	Uso de Simulações Computacionais no Ensino de Física: Análise das Mudanças Conceituais no Ensino de Quantidade de Movimento http://www.cienciamao.usp.br/tudo/exibir.php?midia=snef&cod=_usodesimulacoescomp_ufaci
19	O uso de simuladores via smartphone no ensino de física: O experimento de Oersted https://www.scienciaplena.org.br/sp/article/view/3358
20	Uma metodologia alternativa para o ensino de física: o uso de simuladores e sensores na busca de uma aprendizagem significativa https://ufsj.edu.br/portal2repositorio/File/pibidfisica/Trabalhos%20Divulgados/XX%20SNEF/Jessica e Cristiane - XX SNEF.pdf
21	O uso do simulador phet no ensino de indução eletromagnética https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/4225/1/Antonio%20Cezar%20Ramos%20%20Dissertacao%20Final.pdf
22	Uma proposta de ensino de conceitos de eletromagnetismo utilizando o Simulador PhET http://www.biblioteca.ufabc.edu.br/http://biblioteca.ufabc.edu.br/index.php?codigo_sophia=103888
23	Propondo material de apoio à prática com simuladores no ensino/aprendizagem de eletrostática em EJA http://repositorio.unb.br/handle/10482/22002
24	Sequência didática multimídia para o ensino do efeito fotoelétrico https://appdesenv.uff.br/riuff/handle/1/4433
25	Uma Sequência Didática Alternativa: Conceitos de Eletricidade e o Efeito Fotoelétrico Utilizando Simulações Computacionais https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTr

	abalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=4333856
26	Uso de Simuladores em Atividades de Laboratório de Física Moderna: Análise e sua contribuição para o ensino e aprendizagem na modalidade de Educação a Distância https://sucupira.capes.gov.br/sucupira/public/consultas/coleta/trabalhoConclusao/viewTrabalhoConclusao.jsf?popup=true&id_trabalho=2430308
27	Investigação de Perfis Conceituais em uma atividade experimental sobre Força Magnética no Ensino Médio https://doi.org/10.5007/2175-7941.2018v35n1p290
28	Simulações computacionais como ferramentas para o ensino de conceitos básicos de eletricidade https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/21757941.2012v29nesp1p562/226
29	Ambientes de modelagem computacional no aprendizado exploratório de Física https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2012v29nesp2p679
30	Aparato experimental para o ensino de tópicos da eletrostática: o eletroscópio com transistor de efeito de campo https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p298
31	Física em Ação através de Tirinhas e Histórias em Quadrinhos https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2016v33n3p896
32	Utilizando o versório de Gilbert magnetizado para verificar o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso em função da distância entre elas http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol16-Num1/a07.pdf
33	Fios, bobinas e ímãs: Iniciando os estudos em eletromagnetismo http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol14-Num2/a07.pdf
34	Construção de um gerador eletrostático gotejante: chuva elétrica de Kelvin https://www.ifi.unicamp.br/~assis/A-Fisica-na-Escola-V9-p29-32(2008).pdf
35	As atividades de uma demonstração e a teoria de Vigotski: um motor elétrico de fácil construção e de baixo custo https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n2p371
36	Atividades prático-experimentais no ensino de Física https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2017v34n1p265
37	Aulas experimentais na perspectiva construtivista: proposta de organização do roteiro para aulas de física http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol13-Num1/a021.pdf
38	Laboratórios de aprendizagem de física: resultados de uma experiência pedagógica sustentável http://www1.fisica.org.br/fne/phocadownload/Vol12-Num2/a041.pdf
39	A modelagem científica de fenômenos físicos e o ensino de física https://lume.ufrgs.br/handle/10183/116439
40	Poesia na Sala de Aula de Ciências? A Literatura Poética e Possíveis Usos Didáticos http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol3/Num1/a07.pdf
41	Física e Teatro: Uma Parceria que deu certo! http://www.sbfisica.org.br/fne/Vol2/Num1/teatro.pdf
42	Atividades computacionais e experimentais como ferramentas de ensino da eletricidade https://www.univates.br/bdu/bitstream/10737/2522/1/2019RoniedisonScarpati.pdf
43	Simulação e modelagem computacionais no auxílio à aprendizagem significativa de conceitos básicos de eletricidade: parte I - circuitos elétricos simples https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S180611172006000400011&script=sci_arttext&tlng=pt
44	Simulações computacionais como ferramenta auxiliar ao ensino de conceitos básicos de eletromagnetismo: Elaboração de Um Roteiro de Atividades para Professores do Ensino Médio http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20170424095243.pdf
45	A utilização da modelagem computacional quantitativa no aprendizado exploratório de física https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/6681
46	História em Quadrinhos como Recurso Didático para Aulas de Física no Sistema Prisional http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernospede/pdebusca/producoes_pde/20

	16/2016_pdp_fis_uem_analeilamarques.pdf
47	Atividades experimentais no ensino de física: diferentes enfoques, diferentes finalidades https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-47442003000200007
48	Sensor para medição do campo elétrico http://repositorio.unicamp.br/jspui/handle/REPOSIP/259374
49	Construção de um instrumento para a medida e estudo do campo elétrico da atmosfera http://quaiaca.ufpel.edu.br:8080/handle/prefix/3986
50	Eletrostática e física de partículas sob o olhar da História da Ciência: Uma proposta para a construção de animações e vídeos no Ensino Médio http://tede.bc.uepb.edu.br/jspui/handle/tede/3021
51	Abordagem de conceitos sobre eletrostática no ensino médio através de uma oficina de ensino de Física https://repositorio.ufscar.br/handle/ufscar/12024
52	Ensino de física na educação de jovens e adultos : contextualizando de uma forma significativa o estudo da eletricidade https://lume.ufrgs.br/handle/10183/111862
53	Estratégias experimentais de ensino visando contribuir com o ensino de Física de modo significativo: atividades de eletricidade, magnetismo e eletromagnetismo https://repositorio.unesp.br/handle/11449/135949
54	Analisar o uso de simuladores como ferramenta de auxílio no processo de aprendizagem dos conceitos Físicos. https://eventos.utfpr.edu.br/sicite/sicite2017/paper/view/202
55	Um estudo de caso explanatório sobre o desenvolvimento de atividades experimentais com enfoque no processo de modelagem científica para o ensino de física https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/5672
56	Uma proposta de sequência didática para o ensino de eletrostática http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2687
57	Desenvolvimento e avaliação de um simulador para o ensino de eletrostática http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/5164
58	Jogos para o Ensino de Física, Química e Biologia: elaboração e utilização espontânea ou método teoricamente fundamentado? https://periodicos.utfpr.edu.br/rbect/article/view/1310
59	O uso do laboratório de física e a sua eficácia para o processo de ensino-aprendizagem https://periodicos.utfpr.edu.br/recit/article/view/5185

Fonte: Autoria própria.

Desse montante de trabalhos, diferentes abordagens e contribuições sobre o tema foram verificadas. Um exemplo disso é dado por Camelo (2012), que aponta em seu trabalho, a necessidade da formação contínua de professores, além de questões aplicadas à Física, com a finalidade de que os mesmos possam vencer a inércia do comodismo, fomentados em todos os níveis educacionais e atualizações de suas ações pedagógicas. Destaca ainda que neste campo seja preciso enfrentar grandes desafios, com constantes inovações na postura do educador comprometido com uma visão global e atualizada deste mundo, sendo esta, estando em constante evolução.

Os trabalhos que fazem uso da teoria psicológica de Vygotsky, segundo Camelo (2012), oferecem grandes contribuições para a formação docente em Física

e também para a ação pedagógica, promovendo o aluno como um ser ativo na sua aprendizagem. Nessa concepção, o papel desempenhado pelo professor é muito significativo em sala de aula, atuando como mediador das interações, tanto entre os alunos quanto entre eles e os objetos de conhecimento. Ele deve promover situações instigantes para aguçar a curiosidade dos alunos e desencadear os processos contidos na zona de desenvolvimento proximal. Suas intervenções devem ser no sentido de o aluno avançar, reestruturar-se, reorganizar-se em termos de ampliação dos conhecimentos. Essa metodologia de ensino foi verificada em todos os níveis da escolaridade: Educação Básica, cursos de Educação de Jovens e Adultos (VAZ, 2015), Ensino Técnico (CAMELO, 2012; BEILNER e MUCHENSKI, 2015) e Ensino Superior (OLIVEIRA e PEREIRA, 2016).

Outros autores (PEDROSO, 2008; SILVA, 2015; ALVES, 2015; ORTIZ, 2015) destacam em seus trabalhos as contribuições positivas angariadas a partir do uso da teoria da aprendizagem significativa proposta por Ausubel, em que está relacionado com a importância dos significados dos conceitos físicos atribuídos pelos próprios estudantes e da forma como os mesmos utilizam os subsunçores no processo de construção do conhecimento.

Cabe destacar que os 59 trabalhos foram encontrados por meio de buscas nas bases de dados: banco de teses e dissertações da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal do Nível Superior (CAPES), banco de teses e dissertações do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), caderno brasileiro de ensino de Física, revista brasileira de ensino de Física, revista ensino e pesquisa, na revista "A Física na escola". Ao longo das buscas nas bases de dados supracitadas, foram utilizadas as seguintes palavras-chave: Ensino de Física, Ensino de Força Elétrica e Ensino de Lei de Coulomb. Do montante de trabalhos, 31 usaram conceitos relacionados à Lei de Coulomb, como a força elétrica e o campo elétrico em diferentes contextos, sejam no caso do efeito fotoelétrico, das ondas eletromagnéticas, do estudo da capacitância ou do transporte de corrente elétrica, como destacado no trabalho de Cardoso (2012). Neste mesmo contexto, pesquisadores como Silva (2015) e Gomes (2011), destacam em seus trabalhos as contribuições positivas obtidas a partir do uso de diferentes ferramentas, como as simulações empregadas no tratamento do conteúdo do efeito fotoelétrico. Segundo os autores, este tipo de aplicação tecnológica, associada a um método educacional acessível e coerente, aplicado no conteúdo de Física Moderna e Contemporânea

dos estudantes do Ensino Médio, pode melhorar o processo de ensino-aprendizagem.

Neste sentido, 28 trabalhos tratam do ensino da Lei de Coulomb e apresentam uma grande variedade de ferramentas sendo utilizadas para o desenvolvimento deste conteúdo. Atividades que utilizam experimentos de baixo custo foram utilizadas nos trabalhos de Cuité et al. (2017), Beilner (2015), Sampaio et al. (2017), Oliveira e Pereira (2018), e Camillo e Assis (2008), os quais destacam as contribuições dessas ferramentas na relação entre teoria e prática e no trabalho em equipe entre os estudantes. Nesse contexto, os trabalhos de Alves 2015; Macêdo et al. 2012; e Ortiz 2015 discutem as contribuições obtidas pelo uso de simuladores, pois facilitam a representação de situações práticas onde os efeitos físicos estejam presentes, dispensando grandes investimentos de materiais e infraestrutura.

Outros trabalhos como os de (SANTOS, 2013; PEREIRA et al., 2016), que discutem tirinhas e histórias em quadrinhos, e (SILVA, 2015), que utilizaram atividades lúdicas como poesia, teatro e jogos didáticos para tratar o tema, trazem as contribuições dessas ações didático-pedagógicas, além do envolvimento e participação mais significativa dos estudantes no desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem, pois permitem diferentes estratégias de abordagem do tema.

Um resultado importante obtido dessa análise dos trabalhos aponta que, embora seja observada uma variedade significativa de ações didático-pedagógicas no desenvolvimento do conteúdo de Lei de Coulomb, apenas dois trabalhos (WEISS e NETO, 2005; PEDROSO, 2008) propõem atividades que tratam o tema de maneira quantitativa. Nesse sentido, os autores apontam os benefícios das atividades que permitam a verificação e quantificação das grandezas físicas envolvidas no desenvolvimento do conteúdo como parte imprescindível na compreensão e elaboração do conhecimento por parte do aluno que pode auxiliar na compreensão dos conceitos científicos envolvidos com o tema.

Nessa perspectiva, entende-se que o conteúdo de eletrostática pode ser apresentado aos estudantes através de fenômenos envolvendo eletricidade, buscando motivar os alunos, estimulando-os a relacionarem o conteúdo científico e promovendo informações com o que está presente no cotidiano do educando. Contudo, vale lembrar que para a grande maioria dos educandos, a Educação Básica, mais especificamente, a disciplina de Física, é composta por conteúdos

extremamente complexos que exigem certos cuidados ao serem tratados em sala de aula, como é o caso do conteúdo de força elétrica e campo elétrico, que está presente no cotidiano do educando e que, devido à ausência de conhecimento científico, desconhece a maioria de suas aplicações.

2.2 O ENSINO DE FÍSICA NA PERSPECTIVA HISTÓRICO-CRÍTICA

Quando pensamos nas escolas públicas brasileiras, mais especificamente nas aulas ministradas no ensino da disciplina de Física, observa-se a presença de uma abordagem teórica, baseada em representações matemáticas, evitando na maioria das vezes a experimentação:

(...) a incrível falha das escolas tradicionais, até estes últimos anos inclusive, consiste em haver negligenciado quase que sistematicamente a formação dos alunos no tocante à experimentação. (...) uma experiência que não seja realizada pela própria pessoa, com plena liberdade de iniciativa, deixa de ser, por definição, uma experiência, transformando-se em simples adestramento, destituído de valor formador por falta da compreensão. (PIAGET (1998) apud GIOPPO; SCHEFFER; NEVES, 1998, p. 39)

Como destacam os autores Ramos, Antunes e Silva (2010), entende-se que a experimentação aliada à mudança de postura do professor, incorporando metodologias apropriadas para o melhoramento de ensino-aprendizagem, constituem um panorama que favorece a melhora dos resultados da Educação Brasileira. Portanto, procurando mudar o cenário atual em sala de aula, isso nos leva a uma reflexão sobre novas metodologias. Sabe-se que são muitos os problemas da educação brasileira que nos fazem refletir sobre metodologias que favoreçam o ensino aprendido de maneira adequada e mais eficiente:

Para favorecer a superação de algumas das visões simplistas predominantes no ensino de ciências é necessário que as aulas de laboratório contemplem discussões teóricas que se estendam além de definições, fatos, conceitos ou generalizações, pois o ensino de ciências, a nosso ver, é uma área muito rica para se explorar diversas estratégias metodológicas, no qual a natureza e as transformações nela ocorridas estão à disposição como recursos didáticos, possibilitando a construção de conhecimentos científicos de modo significativo (RAMOS; ANTUNES; SILVA, 2010, p. 8).

De acordo com Toledo (2015), existem muitas maneiras de aperfeiçoamento e transmissão do conhecimento nas instituições escolares, uma delas é:

O uso de recursos tecnológicos (computador, recursos multimídias, softwares educativos), que auxiliam tanto o professor quanto o aluno durante o processo de aprendizagem, proporcionando condições, ao professor, para ministrar aulas de forma mais criativa, acompanhando as transformações e mudanças que ocorrem quando o aluno passa a exercer sua independência na procura e seleção de informações e na resolução de problemas, tornando-se assim o ator principal na construção do seu conhecimento. (Toledo, 2015).

Percebe-se que uma busca mais efetiva do desenvolvimento do ensino de Ciências precisa ser ministrada nas escolas de rede pública, especificamente no ensino de Física, não dependendo somente de mudanças na metodologia de ensino, mas também valorizar a ciência e tecnologia nas escolas para a condução de práticas docentes diferenciadas que motivem os alunos. Como afirma Krasilchik:

Na medida em que a Ciência e a Tecnologia foram reconhecidas como essenciais no desenvolvimento econômico, cultural e social, o ensino das Ciências em todos os níveis foi também crescendo de importância, sendo objeto de inúmeros movimentos de transformação do ensino, podendo servir de ilustração para tentativas e efeitos das reformas educacionais. (Krasilchik, 2000, p.85).

Diante disso, ocorrem os questionamentos sobre o papel e a função desempenhados pelas escolas, professores, alunos e cidadãos diante da sociedade. Sobre a função social da escola, o autor Libâneo expressa que ela precisa garantir a todos um ensino de qualidade e que sirva aos interesses populares, ou seja, que os educandos se apropriem dos conteúdos escolares básicos e que os mesmos tenham ressonância na sua vida e na construção de sua história enquanto ser humano e suas práticas sociais:

Em síntese, a atuação da escola consiste na preparação do aluno para o mundo adulto e suas contradições, fornecendo-lhe um instrumental, por meio da aquisição de conteúdos e da socialização, para uma participação organizada e ativa na democratização da sociedade. (LIBÂNEO, 2003, p. 30)

Segundo Libâneo (2003), o professor precisa compreender o que os alunos dizem ou fazem e os alunos precisam compreender o que o professor procura lhes dizer, pois é a partir da síntese dos assuntos abordados que a aprendizagem ocorre, pois é quando o educando, partindo de suas reflexões, ressignifica seus conhecimentos anteriores de forma mais clara e subjetiva.

Assim, pode-se afirmar que a estrutura da escola atravessa a relação que estabelece com as demais institucionalidades que constituem o processo formativo humano numa dada sociedade, pois a educação é desenvolvida na diversidade de espaços e tempos por onde transita o ser humano e, portanto, cabe à escola estabelecer os debates possíveis sobre as perspectivas da formação humana sob o manto do conhecimento científico, desenvolvido historicamente pela humanidade.

Neste sentido, a escola é marcada por um espaço de disputa na luta de classes. A escola é política, “marcada pela divisão entre grupos ou classes antagônicas que se relacionam à base da força, a qual se manifesta fundamentalmente nas condições de produção da vida material”, como afirma SAVIANI:

Historicamente a escola foi instrumento de manutenção das classes dominantes e como interferiu no interior da escola, mantendo os interesses da burguesia, em que as mesmas cumprissem certas funções políticas. (SAVIANI, 2008, p. 61)

De acordo com Saviani (1991 apud Gasparin, 2003), “este é, portanto, o que se quer, um momento de reflexão na educação, ao mesmo tempo, que seja crítica e transformadora, que deve ocorrer na sala de aula”. Mesmo após vários anos passados, a citação acima continua pertinente e atualizada diante do nosso contexto escolar, pois ainda hoje, é impossível negar que a ação didático-pedagógica do professor tem que ser difundida com muita clareza para que possa fazer dessa didática um instrumento que leve ao verdadeiro conhecimento transformador da sociedade.

No Brasil, no século XIX, o acesso à educação era voltado a um grupo pequeno de pessoas que detinham o poder capitalista, sendo a maioria das pessoas desprovidas e ficando na indiferença, pois os professores não se preocupavam com alunos das classes minoritárias da sociedade, sem se preocupar com os costumes, conhecimentos populares, hábitos, baixo vocabulário, pais analfabetos, famílias desestruturadas, entre outros, ignorando que o conhecimento ocorre por etapas e que o aluno só reproduz aquilo que está na sua mente, ou seja, a representação é elemento intermediário entre a percepção sensível e o conhecimento abstrato. Apesar do tempo, essa realidade, respeitando os avanços conquistados ao longo da história, ainda parece longe de ser diferente nos dias atuais. Concorde-se com Paro (2012), quando afirma que:

No atual contexto da sociedade capitalista em que vivemos, a transformação social precisa ser entendida num sentido que extrapole o âmbito das meras “reformas”, de iniciativa da classe que detém o poder, e que visam tão somente a acomodar a seus interesses os antagonismos emergentes na sociedade. Em seu sentido radical, a transformação social deve estar comprometida com a própria superação da maneira como se encontra a sociedade organizada. Não, portanto, a mera atenuação ou escamoteação dos antagonismos, mas a eliminação de suas causas, ou seja, a superação das classes sociais. (PARO, 2012, p.107)

Considerando a atual conjuntura social, política e econômica em que estamos inseridos, o papel do professor em sala de aula deve ser voltado a enriquecer, aprofundar e esclarecer as contradições de forma que possa contribuir com a formação de cidadãos críticos, capazes de compreender e alterar sua realidade, procurar ensinar a natureza da ciência sobre vários aspectos, onde possam levantar hipóteses, chegar a conclusões, debater, compreender o ambiente e a linguagem científica que estão inseridas em seu cotidiano, usando como ferramenta o método que se insere na teoria-prática, ou seja, partir sempre da prática social atual, contextualizando-a, passando, em seguida, à teoria que ilumina essa prática cotidiana, a fim de chegar a uma nova prática social com benefícios concretos e compreensíveis. Desta forma, trabalhar os conteúdos, contextualizando-os com a prática social mais ampla, é o fundamento da Pedagogia Histórico-Crítica que levará o educando a uma reflexão sobre a sua participação na sociedade em que atua. Segundo Sandoval (2005, p. 638),

[...] em sociedades democráticas contemporâneas, os cidadãos necessitam compreender a natureza do conhecimento e da prática científica a fim de participar eficazmente em decisões políticas e interpretar o significado das novas implicações científicas em suas vidas. [...] É preciso que os cidadãos compreendam a ciência, seus poderes e limites, não porque isso é bom para a ciência, mas porque isso é crucial para a democracia.

Para Carvalho; Sasseron (2011), o processo de “enculturação científica” (entendimento das relações existentes entre ciência e sociedade, a compreensão da natureza da ciência e dos fatores éticos e políticos que circundam sua prática) dos alunos, deve ser visto como um dos objetivos da educação científica. Tendo em vista o compromisso com a formação de cidadãos críticos, que compreendam a relevância entre a relação da ciência com a sociedade, optou-se neste trabalho utilizar como referencial a teoria Histórico-Crítica, que foi adaptada por Gasparin

(2003), na qual apresenta uma proposta que descreve cinco passos que direcionam o trabalho do professor para que a teoria Pedagogia Histórico-Crítica seja aplicada em sala de aula, sendo eles: a prática social inicial, a problematização, a instrumentalização, a catarse e a prática social final.

O primeiro passo, a prática social inicial, implica segundo (GASPARIN, 2003, p.17): “em partir do saber, do conhecimento que os educandos já possuem sobre o conteúdo”. Ou seja, o professor precisa desafiar, incentivar e ter a sensatez de observar os conhecimentos específicos do que os alunos já sabem ou gostariam de saber em relação aos conteúdos, tendo assim um conhecimento prévio da realidade, pois estes talvez possuam, em sua grande maioria, apenas uma percepção inicial de senso comum.

Passando para o segundo passo, a problematização, fase que consiste, em selecionar e discutir problemas que tem sua origem na prática social. Os alunos neste instante vão entender que precisam aprender a se questionar, investigar, refletir, ir ao fundo para encontrar um caminho que possa solucionar as questões que foram levantadas na prática social. Partindo dessa ideia “deve ser realizada uma triagem do que realmente é fundamental”, tendo em vista o conhecimento do todo social, e não apenas do cotidiano imediato (GASPARIN, 2003, p. 36). As dúvidas que surgirem, com base nos dados indicados pelos alunos, será mediado pelo educador que dará um tratamento mais amplo, possibilitando assim, que os educandos entendam tais problemas e busquem a solução dos mesmos, com base no conhecimento científico, o que permitirá que o estudo não consista apenas em reproduzir algo e sim em encaminhar soluções, ainda que teóricas, para os desafios apontados pela realidade, sendo neste momento estabelecido o entendimento.

Na fase da instrumentalização (terceiro passo), de acordo com Gasparin (2003, p. 107), ocorre o desenvolvimento da metodologia, ou seja, é o trabalho do professor com os educandos para possibilitar a apropriação do conhecimento, na qual, de fato, “ocorre à aprendizagem do conhecimento científico, ou seja, dos conceitos científicos”. O processo dialético de construção do conhecimento é efetivado pelo educando e o professor, na instrumentalização, saindo do conhecimento baseado na experiência (empírico) para o concreto. É o momento de ressaltar que os estudos dos conteúdos propostos vão ser colocados em prática, ou melhor, é retomar a prática para transformá-la. Para tanto, é indispensável a presença do professor que agirá como mediador, interagindo com os alunos para que possam apreender o

conhecimento historicamente produzido sobre os diferentes temas, auxiliando-os a elaborarem sua representação mental do objeto do conhecimento. Trata-se efetivamente do momento da análise. Gasparin (2003), ao discutir sobre o papel do professor, comenta:

Ao assumir o papel de mediador pedagógico, o professor torna-se provocador, contraditor, facilitador, orientador. Torna-se também unificador do conhecimento cotidiano e científico de seus alunos, assumindo sua responsabilidade social na construção/reconstrução do conhecimento das novas gerações em função da transformação da realidade. (GASPARIN, 2003, p.113).

Nesse sentido, pode-se afirmar que a partir do momento em que o aluno, com a ajuda do professor, consegue entender os novos conhecimentos, este se transforma num cidadão mais autônomo, ou seja, um cidadão crítico e participativo que ao término do período escolar, conseguirá formar conceitos mais elaborados, sem a participação direta do professor. Quando os alunos atingirem esse nível de compreensão, o professor terá cumprido sua função. Sobre a busca de alternativas ao ensino tradicional e o papel do computador nesse novo paradigma, convém enfatizarmos a visão de Fiolhais; Trindade (2003):

São conhecidas as dificuldades que muitos alunos apresentam na compreensão dos fenômenos físicos. Entre as razões do insucesso na aprendizagem de Física são apontados métodos de ensino desajustados das teorias de aprendizagem mais recentes, assim como falta de meios pedagógicos modernos. A necessidade de diversificarem métodos para combater os insucessos escolares, que é particularmente nítido nas ciências exatas, conduziu ao uso crescente e diversificado do computador no ensino de Física. O computador oferece atualmente várias possibilidades para ajudar a resolver os problemas de insucesso das ciências em geral e da Física em particular. (FIOLHAIS; TRINDADE, 2003)

No passo seguinte (quarto passo), a catarse, será realizada a determinação do nível de aprendizagem do aluno, ou seja, qual é a sua nova maneira de ponderar o conteúdo e a prática social. Com isso, faz-se necessário que o aluno realize uma síntese demonstrando o grau de assimilações dos novos conteúdos, que poderá ser escrita ou oralmente. É com a fundamentação deste exercício que se poderá descobrir o novo posicionamento intelectual dos alunos, situando o conteúdo histórico-concreto na totalidade. Segundo Gasparin (2003, p.130):

“na catarse o educando é capaz de situar e entender as questões sociais postas no início e trabalhadas nas demais fases, o conteúdo em uma nova totalidade social e dando a aprendizagem um novo sentido”. (GASPARIN, 2003, p. 130)

Dessa forma o educando manifesta que assimilou os conteúdos e os métodos de ensino aplicados em função das questões anteriormente enunciadas. Vale ressaltar que esses cinco momentos pedagógicos não são firmes e imóveis. Pelo contrário, eles se entrelaçam e se associam ao longo do processo de ensino-aprendizagem.

O último passo (quinto passo), a prática social final está associada diretamente com a prática social inicial, porém com uma diferença: se antes o conhecimento da realidade era apenas do senso comum, nesta fase foi adquirido um conhecimento orientado, sistematizado, com um caráter científico, capaz de modificar a ação do educando na sociedade. Uma das formas de averiguar estes conhecimentos ocorre pelo uso de um questionário aplicado aos alunos em momentos diferentes: no início e no fim da intervenção. Os resultados podem ser utilizados para indicar as contribuições e os limites da prática docente, bem como, revelam a disposição de como os alunos colocam em prática o novo conhecimento.

Esse novo conhecimento, no entanto, deve ser percebido na ação dos alunos, tanto dentro quanto fora da sala de aula, mesmo porque, como afirma Gasparin (2012, p. 20), “a função do professor consiste em aprofundar, enriquecer, ou retificar essas concepções, esclarecer as contradições, reconceituando os termos de uso diário”. A proposta é de que o aluno, ao tomar consciência de que algo pode ser mudado e que façam questionamentos, desenvolvam o senso investigativo, reformulem os conceitos prévios e pressupõe a articulação entre educação e sociedade.

Partindo dos apontamentos acima apresentados, foi desenvolvido o Plano de Unidade (produto educacional) sobre Lei de Coulomb e Lei de Gauss, tomando como base os princípios da Pedagogia Histórico-Crítica, uma vez que esses conteúdos são costumeiramente tratados de maneira superficial no currículo do terceiro ano do Ensino Médio das escolas pertencentes ao Núcleo Regional de Toledo, PR. Com isso, há intenção de contribuir para o enriquecimento da compreensão dos alunos sobre os efeitos vinculados ao estudo da força elétrica e campo elétrico.

2.3 A FORÇA E O CAMPO ELÉTRICO

No atual contexto de desenvolvimento científico, torna-se inquestionável a relevância das aplicações dos conceitos de força e de campo elétrico, estudados em uma área do conhecimento chamada de eletrostática. Esta área do conhecimento da Física visa compreender o comportamento das cargas elétricas em repouso, suas interações, auxiliando dentre outras coisas, a entender a estrutura atômica da matéria e suas diversas aplicações, como o transporte de corrente elétrica.

As primeiras observações dos fenômenos relacionados à eletrostática datam do século VI a.C., reportadas por Tales de Mileto, que buscava entender por que o âmbar, após ser atritado com a pele de carneiro, adquiria uma propriedade capaz de atrair pedaços de palha ou pequenos pedaços de madeira. Também os indianos da antiguidade aqueciam certos cristais que atraíam cinzas quentes, atribuindo ao fenômeno causas sobrenaturais. O fenômeno, porém, permaneceu através dos tempos apenas como curiosidade.

No século XVI, William Gilbert utilizou a palavra "eletricidade", derivada da palavra grega *elektron*, que era o nome que os gregos davam ao âmbar. Gilbert reconheceu que essa propriedade eletrostática (de atrair pequenos pedaços de palha ou madeira) não era restrita ao âmbar, mas que outras substâncias também a manifestavam, tais como, resinas, vidros, o enxofre, entre outros compostos sólidos. A compreensão mais aprofundada dos fenômenos relacionados à eletrostática nos sólidos originou estudos que possibilitaram a classificação prévia dos materiais em dois grandes grupos, os isolantes e condutores.

Otto Von Guericke em 1672, inventou o primeiro dispositivo gerador de eletricidade estática. Esse era constituído de uma esfera giratória composta de enxofre, com o qual, conseguiu-se a primeira centelha elétrica através de máquinas. Mais tarde, Petrus Van Musschenbroek em 1745, descobriu a condensação elétrica ao inventar a garrafa de Leyden, o primeiro capacitor, que permitiu aumentar os efeitos das centelhas elétricas. Cabe destacar que nesta época ainda não se conhecia a natureza das cargas elétricas, sendo que Charles Du Fay, por volta de 1733, descobriu que existiam dois tipos de eletricidade, a vítrea, e a resinosa, a qual posteriormente foi convencionada como cargas positivas e negativas, respectivamente.

Mais adiante, Benjamin Franklin, com sua experiência sobre as descargas

atmosféricas, demonstrou o poder das pontas, inventando o para-raios, porém foi Coulomb, em 1785, quem executou o primeiro estudo sistemático e quantitativo do comportamento das cargas elétricas, demonstrando que as repulsões e atrações elétricas são inversamente proporcionais ao quadrado da distância. Os resultados obtidos por Coulomb foram retomados e serviram para inspirar outras pesquisas por Pierre Simon Laplace, Siméon Denis Poisson, Biot, Carl Friederich Gauss e Michel Faraday.

A partir dessas pesquisas, muitos avanços tecnológicos presentes no nosso cotidiano foram encaminhados, e tendo em vista sua importância para a formação do cidadão, dominar esse conteúdo é um passo importante que possibilita o profissional da educação a redefinir seu trabalho pedagógico, buscando dar ênfase nos aspectos mais relevantes e como desenvolver esses objetivos em sala de aula.

Visando colaborar com o desenvolvimento desse conteúdo em sala de aula, o plano de unidade tratará dos conceitos envolvidos sobre carga elétrica e suas propriedades, condutores e isolantes, processos de eletrização, força elétrica, identificando as condições de atração ou repulsão entre as cargas, análise de experimentos e relacionando os efeitos obtidos com a Lei de Coulomb, representação das linhas de campo elétrico, fluxo elétrico e Lei de Gauss. Esses conteúdos serão desenvolvidos por meio da resolução de problemas, do uso de tecnologias como o simulador *Schanpsidee*, bem como, de atividades experimentais. Neste sentido, Reginaldo (2012) destaca que:

As atividades experimentais podem proporcionar aos alunos o desenvolvimento de vários tipos de habilidades, ao mesmo tempo, podem proporcionar ao professor momentos de aprendizagem, melhorando assim, continuamente, sua postura didática. (REGINALDO et. al, 2012)

Espera-se que os estudantes possam se familiarizar com os conteúdos apresentado a partir do desenvolvimento dessa proposta, bem como as discussões de suas respectivas analogias, além de atividades teórico-práticas que relacionam os conceitos físicos sobre o tema. Vale ressaltar que cuidados referentes à forma como o conteúdo será apresentado aos alunos serão tomados, evitando formalismos matemáticos demasiadamente avançados, como por exemplo, as integrais e derivadas costumeiramente utilizadas no ensino superior.

Ao planejar as aulas, buscou-se novos rumos e estratégias com a finalidade

de alcançar objetivos que proporcionem um aprendizado para outras dimensões além do conteúdo conceitual, como das atitudes e procedimentos, evitando lecionar de forma automática por meio de aulas tradicionais (expositivas). Esses materiais nos proporcionam certos critérios que levam a tomar decisões, tanto no planejamento como na intervenção, para melhorar o processo de aprendizagem (ZABALA, 1998).

Neste sentido, abaixo estão elencados, em tópicos, os conteúdos envolvidos no tema, foco deste trabalho, trazendo detalhes de como implementá-los no Ensino Médio, de modo a colaborar com o planejamento do trabalho docente.

2.3.1 Carga Elétrica

Embora saibamos que os fenômenos relacionados à carga elétrica, verificados inicialmente no século VI a.C. por Tales de Mileto, estejam intimamente ligados à natureza constituinte da matéria, cuja tentativa inicial de explicação, data de IV a.C, na Grécia antiga, a partir das idéias de Leucipo e Demócrito, que instituíram o conceito de átomo, a menor porção divisível de matéria, percebemos uma lacuna temporal de 22 séculos até que os primeiros modelos atômicos utilizassem o conceito de carga elétrica em sua formulação.

Desde então, um grande intervalo de tempo se sucedeu até que em 1808, Dalton, observando trabalhos de Lavoisier, propôs um modelo atômico mais evoluído, no qual cada elemento químico era composto por um grupo de átomos idênticos entre si, que os mesmos seriam indivisíveis e indestrutíveis, com forma esférica. Até então não havia nenhuma relação entre o átomo e as cargas elétricas, sendo que apenas em 1897, Thomson propôs um modelo que previa sua existência.

Conforme este modelo, o átomo seria formado por uma matéria de carga majoritariamente positiva, na qual os elétrons estariam distribuídos homogeneamente ao longo de todo o seu volume, de uma forma análoga a de um pudim de passas. Esse modelo permitiu grandes avanços na compreensão de efeitos de origem elétrica relacionados à matéria, assim como contribuiu nos estudos da interação entre a radiação e a matéria, porém em um curto intervalo de tempo, no ano de 1913, este modelo foi substituído por outro mais complexo, chamado de modelo de Bohr, em homenagem ao seu desenvolvedor, Niels Bohr.

Baseados nos estudos de Rutherford, que propôs o primeiro modelo que previa a existência de um núcleo compacto e muito denso com cargas positivas, os prótons, e os nêutrons (partículas neutras), onde os elétrons, com sua carga negativa, orbitam uma vasta região em volta do núcleo, Bohr propôs um modelo, no qual postulou que os elétrons ocupavam órbitas estáveis, circulares, de energia e raios quantizados, ou seja, múltiplos inteiros de um valor.

Uma analogia possível ocorre entre o modelo de Bohr e um modelo planetário, onde o núcleo (sol) é composto por cargas positivas (prótons) e os nêutrons, a eletrosfera define a região ocupada pelas orbitas circulares dos elétrons (planetas) de cargas negativas. Cabe destacar, que por convenção define-se que os prótons possuem uma carga elétrica elementar de uma unidade positiva, representada por $+e$, e também que os elétrons têm uma carga elétrica negativa, expressa por $-e$.

Como as cargas negativas (elétrons) ocupam as posições mais externas dos átomos, sempre que houver trocas de cargas de um corpo para outro, ela ocorrerá em função da transferência de elétrons. Cabe destacar que a unidade de medida de carga elétrica no Sistema Internacional de Medidas (SI) é o Coulomb (C), e que a carga elétrica é uma propriedade intrínseca (própria das partículas fundamentais da matéria, como prótons e elétrons, assim como a massa). Corpos eletricamente neutros apresentam a mesma quantidade de cargas elétricas positivas e negativas.

A carga elétrica é uma grandeza física quantizada, isto é, ela apresenta um valor mínimo, de forma que não é possível encontrar corpos carregados com um valor não correspondente a um múltiplo inteiro de um valor, chamado de carga elementar, geralmente denotado pela letra "e". Os prótons e elétrons apresentam exatamente o mesmo valor de carga elétrica em módulo, aproximadamente $1,602 \times 10^{-19}$ C. Portanto, quando um corpo está eletricamente carregado, o desbalanço entre o número de prótons e elétrons que resulta na carga líquida acumulada sempre será atribuído ao número de elétrons. Átomos que possuem um número igual de elétrons e prótons são considerados eletricamente neutros. Quando um átomo perde elétrons, torna-se um íon positivo (cátion), quando recebe elétrons, torna-se um íon negativo (ânion). Cabe destacar que, pelo fato dos prótons estarem fortemente ligados formando o núcleo massivo do átomo, a energia necessária para arrancar um próton ou nêutron do átomo é muito alta, da ordem de

grandeza de alguns MeV (10^6 eV), enquanto que a energia necessária para arrancar um elétron do átomo é da ordem de dezenas de eV. (FERNANDES, 2004, p. 14)

Uma propriedade interessante das cargas elétricas é a capacidade de se atraírem ou repelirem mutuamente. A Lei de Dufay define que cargas com sinais iguais interagem entre si e reagem por meio de uma força, repelindo-se mutuamente. Ao contrário, cargas com sinais opostos se atraem mutuamente.

Cabe destacar que forças surgem como resultado da interação entre dois ou mais corpos. Neste sentido, a interação eletrostática vai se dar, no mínimo aos pares de partículas carregadas. Sendo assim, se a carga A interage com a carga B, o resultado dessa interação será uma força em cada uma das partículas com mesma direção e módulo e sentidos opostos, que dependem do tipo de carga.

O comportamento das cargas elétricas é dependente da natureza dos materiais. Nos materiais condutores, como os metais, em função dos elétrons que ocupam a última camada (valência) estarem fracamente ligados ao núcleo, possa, por meio de uma pequena energia, participar do processo de condução elétrica, migrando para seus átomos vizinhos. São condutores: os metais e suas ligas, as soluções eletrolíticas (soluções aquosas de ácidos, bases ou sais) etc.

Já nos isolantes, que possuem forte energia de ligação com seus elétrons, o processo de condução é dificultado, somente ocorrendo em casos extremos, como por exemplo, nas descargas de raios em tempestades. São isolantes: o grafite, a porcelana, o vidro, a ebonite, a mica, a borracha, o enxofre, etc.

Existe uma categoria intermediária entre os condutores e os isolantes, do ponto de vista da capacidade de conduzir cargas, à qual pertencem os chamados semicondutores. Entre eles, o silício e o germânio são bem conhecidos.

Os **semicondutores** são sólidos capazes de mudar sua condição de isolante para condutores com grande facilidade, utilizados para a fabricação de componentes eletrônicos. Sua vasta aplicação possibilita o uso no controle da luminosidade, nos relés fotoelétricos responsáveis pelo ligamento das lâmpadas de iluminação pública quando começa a escurecer. O foto diodo é utilizado na fibra óptica, leitores de scanner, canetas ópticas (escrever na tela de celular), leitoras de código de barras, entre outros. Existem os sensores de velocidade que são colocados dentro de máquinas industriais. Sensor de posição para verificar a posição de um braço do robô, contagem de produtos em indústrias ou até mesmo o alinhamento de uma antena parabólica com um satélite. Em gavetas de porta CD que indicam se ela está

aberta ou fechada (led), alarmes, controle remoto, eletrodomésticos, equipamentos industriais e muitos outros. Também se destaca no campo da medicina em aparelhos usados para exames e procedimentos cirúrgicos.

Dando sequência, nos supercondutores a resistência elétrica associada ao fluxo de elétrons não é apenas baixa, é nula. A supercondutividade foi descoberta em 1911, pelo físico holandês Kammerling Onnes, o qual observou que o mercúrio sólido perde completamente a resistência elétrica a 4,2 K. (cerca de $-269\text{ }^{\circ}\text{C}$). Outra propriedade relacionada aos supercondutores consiste no diamagnetismo perfeito, ou seja, a exclusão completa do fluxo magnético do seu interior, também conhecido como Efeito Meissner. Após 1986, foram desenvolvidos materiais que possibilitam a supercondutividade a temperaturas mais altas, sendo um novo campo de pesquisa muito promissor na Física. (DEIMLING, 2010).

A compreensão do comportamento das cargas elétricas permitiu o desenvolvimento da máquina eletrostática, comporta por um mecanismo de arrasto, o desmultiplicador e uma manivela, além de um elemento rotativo deslizante entre almofadas, gerando eletricidade estática e permitindo seu acúmulo. Atualmente as máquinas eletrostáticas são utilizadas em aulas de ciências como o gerador de Van de Graaff, mostrando, de uma forma segura, os fenômenos da eletrostática em alta tensão. O elevado potencial alcançado tem sido também usado para uma variedade de aplicações práticas, tais como nos tubos de raios X, aplicações médicas, esterilização de alimentos e até mesmo na Física nuclear experimental.

Para compreender melhor como ocorrem os processos de trocas de cargas entre diferentes materiais, como nas máquinas eletrostáticas, elencou-se alguns processos de eletrização por: atrito, indução e contato, que estão descritos na sequência.

No processo de eletrização por atrito, friccionou-se a superfície de dois materiais diferentes repetidamente. O resultado é a eletrização de ambos os corpos, cada um com cargas elétricas de sinais contrários, porém com mesmo valor absoluto, visto que a carga que um objeto perde, o outro ganha. Por exemplo, se atritarmos o vidro com o papel, o vidro irá adquirir carga de sinal positivo, enquanto o papel irá receber elétrons, ficando carregado negativamente.

Por meio de verificações experimentais, determinar o sinal que cada substância adquire quando atritada com outro material. Essas observações sobre

perdas ou ganho de elétrons, foram catalogadas com o passar do tempo e deram origem a uma tabela, conhecida na literatura como *série triboelétrica*, descrita na Figura 1. Normalmente, ela está organizada de modo que, quando atritamos dois materiais, aquele que ocupa a posição superior acumula carga positiva, ou seja, perdem elétrons, e aquele que ocupa a posição inferior, ganha elétrons e acumula carga negativa.

Figura 1: Série Triboelétrica

Série Triboelétrica	
Pele humana seca	↑ Positivo
Couro	
Pele de coelho	↓ Negativo
Vidro	
Cabelo humano	↓ Negativo
Fibra sintética (nylon)	
Lã	↓ Negativo
Chumbo	
Pele de gato	↓ Negativo
Seda	
Alumínio	↓ Negativo
Papel	
Algodão	↓ Negativo
Aço	
Madeira	↓ Negativo
Âmbar	
Borracha dura	↓ Negativo
Níquel	
Cobre	↓ Negativo
Latão	
Prata	↓ Negativo
Ouro	
Platina	↓ Negativo
Poliéster	
Isopor	↓ Negativo
Filme de PVC	
Poliuretano	↓ Negativo
Polipropileno	
Vinil	↓ Negativo
Silicone	
Teflon	↓ Negativo

Fonte: Modificado do livro Eletricidade & Magnetismo e Ótica, Tipler e Mosca (2009)

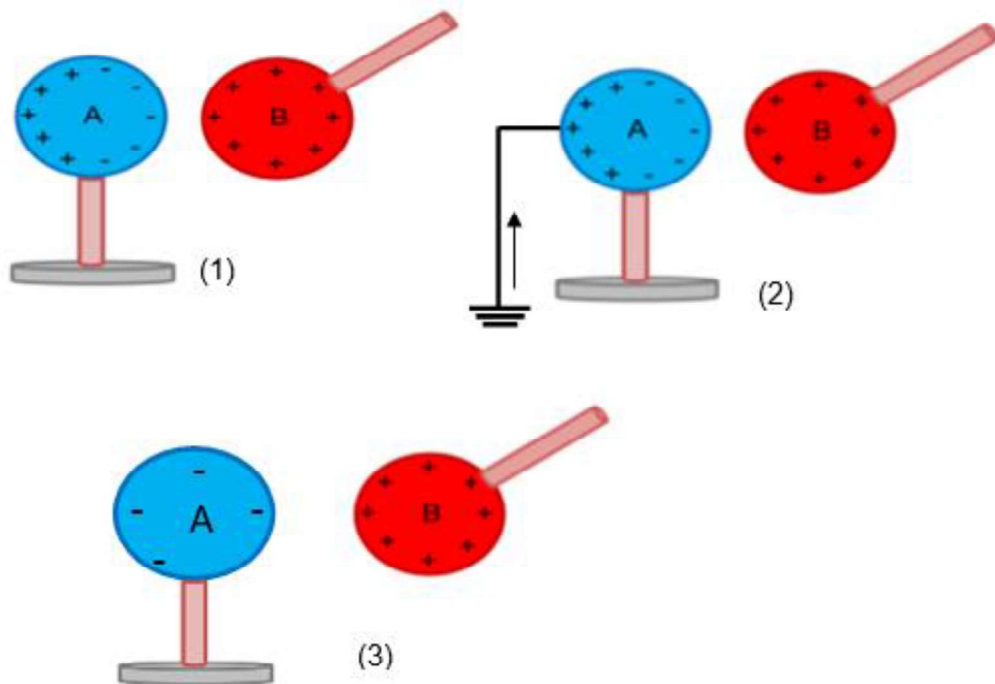
Segundo a tabela apresentada na Figura 1, quanto maior for a separação entre os elementos descritos na série triboelétrica, maior será a eletrização, característica associada à eletronegatividade, tema amplamente discutido na disciplina de Química.

Outra forma de transferir cargas de um material para outro ocorre por meio do contato elétrico. No contato elétrico, a transferência de carga elétrica acontece

quando dois materiais, normalmente condutores, inicialmente com valores diferentes de cargas são colocados em contato. Neste caso, o processo de transferência ocorre rapidamente, e é cessado quando a condição de equilíbrio é satisfeita, ou seja, quando os dois materiais atingem o mesmo potencial elétrico.

Outra maneira de transferir cargas para um corpo transcorre por meio do processo de indução. Para ilustrar esse processo, uma esfera B, chamada de Indutor, que pode ser condutora ou isolante, está inicialmente carregada eletricamente. Aproximando o indutor da esfera A, condutora e inicialmente neutra, ocorre a indução eletrostática, caracterizada pela separação de cargas em A conforme mostrado na Figura 2 - (1).

Figura 2: Etapas envolvidas na eletrização por indução. Em (1) o indutor B é aproximado da esfera A, que em (2) está aterrada permitindo que elétrons neutralizem as cargas positivas induzidas, restando apenas cargas negativas ao final do processo (3).



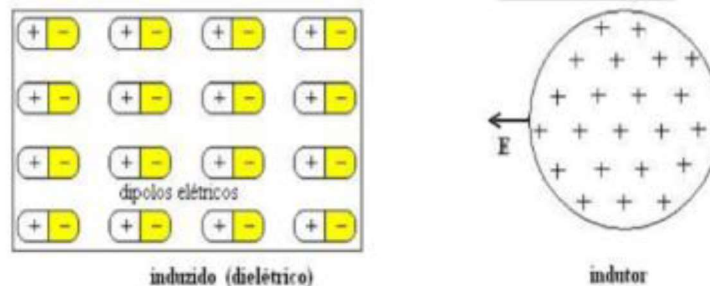
Fonte: Autoria própria

Na Figura 2 - (2) um fio condutor é ligado momentaneamente (contato) à extremidade oposta da esfera A, permitindo que elétrons neutralizem as cargas positivas decorrentes do processo de indução naquela região. Após um breve intervalo de tempo, o fio condutor é removido e apenas então o indutor B é levado para longe de A, permitindo dessa maneira que as cargas negativas da esfera A possam se reorganizar, como mostrado na Figura 2(3).

É interessante notar que os mesmos passos poderiam ser usados para transferir cargas positivas para a esfera A, no entanto, o ponto de aterramento deve ser alterado (no ponto da esfera A mais próximo da esfera B), permitindo que as cargas negativas da esfera A, geradas no processo de indução, pudessem escoar pelo condutor para a Terra, restando ao final do processo apenas cargas positivas.

Cabe destacar que a indução eletrostática se baseia no princípio de atração e repulsão entre cargas elétricas. Porém, se considerássemos que a esfera A fosse um material isolante, também conhecido como dielétrico, como resultado do processo que antes chamado de indução - neste caso é chamado de polarização – o resultado seria o ordenamento das moléculas que compõe o isolante, caracterizado por uma separação espacial das cargas positivas e negativas da molécula, como ilustrado na Figura 3. A este fenômeno, dá-se o nome de polarização. Cabe destacar que, neste caso, não há movimentação de cargas.

Figura 3: Esquema ilustrando a polarização de um material isolante.



Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/inducacao-eletrostatica/>, acessado 20/11/2019.

Os raios constituem exemplos da manifestação da natureza que podem ser explicados a partir do conceito de indução. Quando uma nuvem está eletricamente carregada, ela induz um acúmulo de carga na superfície da região, criando um campo elétrico entre a nuvem e a superfície. Se este campo elétrico induzido for suficientemente intenso, o ar pode se comportar momentaneamente como um condutor, permitindo a descarga elétrica.

Na sequência será explorada outra propriedade que surge a partir da interação entre duas cargas elétricas, a força elétrica, descrita pela Lei de Coulomb.

2.3.2 Lei de Coulomb

Estudos conduzidos pelo físico francês Charles Augustin de Coulomb em

1783, demonstraram que a força elétrica que atua sobre duas partículas eletricamente carregadas é diretamente proporcional às cargas envolvidas e inversamente proporcional ao quadrado da distância.

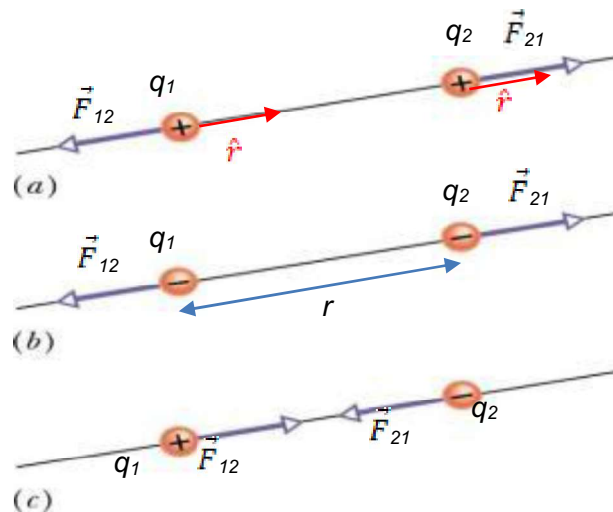
Para compreender melhor este conceito de força elétrica, é necessário inicialmente entender o conceito de partícula. Neste contexto, partícula define um ponto material, sem dimensão espacial, que pode receber uma carga elétrica. Suponha duas partículas carregadas, estas, devido ao campo produzido por cada uma, interagem uma com a outra, e a esta interação, dá-se o nome de força elétrica, conforme descreve a equação 1. Caso as cargas forem de mesmo sinal, a força será repulsiva, caso ao contrário, será atrativa.

$$\vec{F} = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{r^2} \hat{r} \quad (1)$$

Na equação 1, de acordo com o SI, a força elétrica, \vec{F} , é medida em Newtons (N), as cargas q_1 e q_2 são medidas em Coulombs (C), a distância r entre as cargas, em metros e k é a constante eletrostática que tem valor igual a $8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$ para o vácuo. A seta acima da grandeza força (\vec{F}) indica que a mesma é vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido. A direção e o sentido da força são descritos em função do vetor unitário \hat{r} , que é adimensional (não possui unidade de medida), determina a direção da força e tem módulo igual a 1. Cabe destacar que antes de Coulomb, o físico Isaac Newton (1687) propôs a Lei da Gravitação Universal, que descreve a atração entre duas massas e tem a mesma forma matemática, com a diferença de que a força elétrica pode ser atrativa ou repulsiva enquanto que a força gravitacional é sempre atrativa.

A natureza vetorial da força elétrica pode ser observada com mais detalhes na Figura 4. Como se pode observar, as cargas de mesmos sinais se repelem e os sinais forem opostos se atraem.

Figura 4: Orientação da força elétrica.

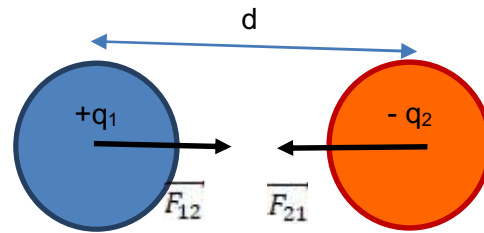


Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

Ainda analisando a Figura 4, pode-se notar o uso de índices para identificar em qual partícula a força está agindo. Por exemplo, na Figura 4 (a), o termo F_{12} indica que a força está agindo na partícula 1, em função da presença da partícula 2. Nesta notação, o primeiro índice se refere a partícula sob a qual a força atua e o segundo índice, à partícula próxima que interage, resultando na força. É interessante notar que: mesmo em situações que as cargas q_1 e q_2 diferirem seu valor numérico, a força F_{12} terá mesma intensidade (módulo) que a força F_{21} e que a direção das forças F_{12} e F_{21} é dada pela reta que passa sobre as cargas q_1 e q_2 .

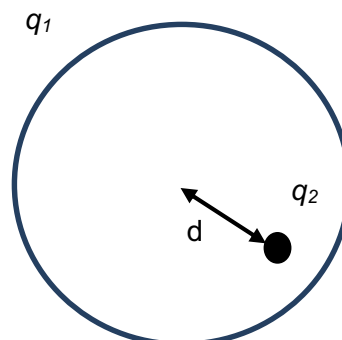
Cabe destacar que até o momento, a Lei de Coulomb foi aplicada apenas as partículas carregadas, porém, uma situação parecida ocorre quando consideramos que a carga elétrica esteja distribuída homogeneamente em uma esfera. Neste cenário, três situações merecem destaque, conforme se vê abaixo:

Situação 1: Quando a carga elétrica estiver distribuída homogeneamente, no volume de uma esfera ou em uma casca esférica, a força elétrica entre duas esferas ou entre uma esfera e uma partícula carregada, situada em uma posição maior que o raio da esfera, poderá ser calculado por meio da Lei de Coulomb (equação 1), considerando que as esferas se comportem como partículas, conforme demonstrado na Figura abaixo.

Figura 5: Força elétrica entre esferas carregadas

Fonte: Autoria própria.

Situação 2: A força elétrica será nula entre uma partícula carregada e uma casca esférica homogeneamente carregada sempre que a partícula estiver ocupando uma posição localizada no interior da casca, conforme ilustra a Figura 6. Um exemplo disso ocorre quando consideramos uma carga distribuída em uma esfera condutora, seja maciça ou oca, pois nos condutores as cargas em excesso sempre estarão localizadas na superfície externa.

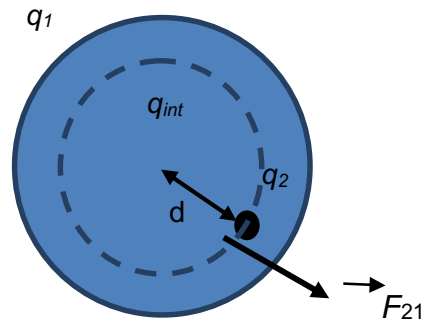
Figura 6: Força elétrica nula quando a partícula carregada está localizada no interior de uma casca esférica.

Fonte: Autoria própria.

Situação 3: A força elétrica entre uma partícula, q_2 , carregada positivamente, localizada a uma distância d do centro de uma esfera isolante de raio R , com cargas positivas, q_1 , distribuídas homogeneamente, será proporcional a carga contida no interior (q_{int}) da esfera delimitada pela distância $d < R$.

Essa situação será mais contextualizada no próximo tópico mediante a compreensão da Lei de Gauss. No entanto, a Figura 7 auxilia a ilustrar o que acontece nessa situação.

Figura 7: Força elétrica em uma partícula carregada q_2 , localizada no interior de uma casca esférica isolante.



Fonte: Autoria própria.

É interessante notar que até o momento, entendeu-se como calcular a força elétrica entre partículas carregadas e distribuições esféricas de cargas. No próximo tópico, compreender-se-á como calcular a força elétrica entre objetos com outros formatos e partículas, por meio das definições de campo elétrico e da Lei de Gauss.

2.3.3 Campo Elétrico

O Campo elétrico é uma grandeza vetorial, dependente da configuração espacial de cargas e das características físicas do espaço que às envolve.

Para facilitar a compreensão inicial do campo elétrico, \vec{E} , expressamos que este é proporcional à força, \vec{F} , que atua sobre uma pequena carga positiva, q_0 , em um ponto do espaço, conforme expressa a equação 2.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (2)$$

Essa carga, q_0 , chamada de carga de prova, necessita ser pequena para que não influencie as demais cargas localizadas em sua vizinhança. No SI, o campo elétrico é medido em Newtons/Coulomb (N/C) ou também pode ser representado em Volts/metro (V/m), sendo que ambas as escalas são proporcionais; $1 \text{ N/C} = 1 \text{ V/m}$. Cabe ressaltar que diversos autores, dentre os quais podemos citar: Halliday, Resnick e Walker (2009), Tipler e Mosca (2009) e Zemansky e Freedman (2009), preferem descrever as equações de campo elétrico em termos de uma nova constante denominada de permissividade elétrica, que está relacionada com a

constante de Coulomb da seguinte forma:

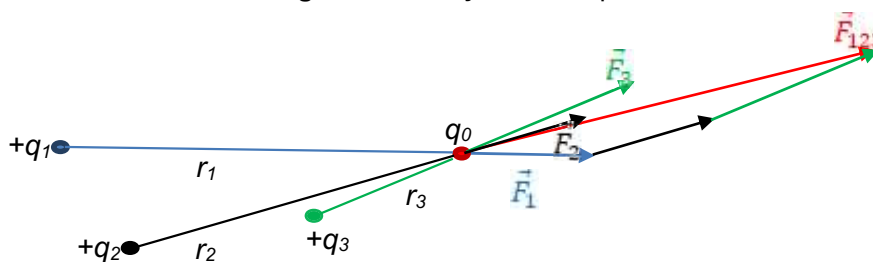
$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi k} = 8,85 * 10^{-12} C^2 / Nm^2 \quad (3)$$

É interessante notar que, como a força é uma grandeza vetorial, que está dividida por um escalar (q_0), o campo elétrico também será vetorial, tendo, portanto, a mesma direção e sentido da força que atua sobre q_0 . Neste cenário, o campo elétrico sempre apontará para longe das cargas positivas (divergente) e em direção das cargas negativas (convergente). Sendo assim, quando a carga de prova está sujeita a mais de uma força decorrente de outras cargas vizinhas, o campo elétrico será obtido a partir da razão entre a força resultante e o valor da carga de prova, conforme a demonstração abaixo:

$$\vec{E}_{tot} = \frac{\vec{F}_1}{q_0} + \frac{\vec{F}_2}{q_0} + \frac{\vec{F}_3}{q_0} = \frac{\vec{F}_{123}}{q_0} \quad (4)$$

Essa situação acima descrita segue representada na Figura 8, em que 3 cargas positivas interagem com a carga de prova gerando uma força resultante.

Figura 8: Definição de campo elétrico



Fonte: Autoria própria.

O campo elétrico gerado pela configuração de cargas, descrita na Figura 8, pode ser obtido por diferentes métodos, dentre os quais podemos citar: o método gráfico de soma de vetores, a lei dos cossenos e a soma vetorial de componentes cartesianas.

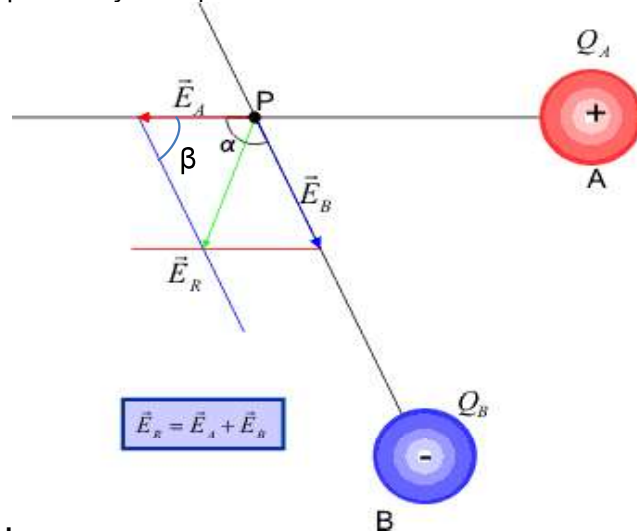
No método de soma gráfica de vetores, também conhecido como Lei do Paralelogramo, os vetores são transladados em sequência a partir da origem e o

vetor resultante é gerado a partir da origem até o ponto onde o último vetor apontar, conforme descreve a Figura 8.

No segundo método, a lei dos cossenos, é necessário do módulo dos dois vetores que se deseja somar e do ângulo formado por eles conforme descreve a Figura 13. Nela, duas cargas puntiformes (A e B) que geram vetores de campo (E_A e E_B) no ponto P . A soma dos dois vetores, vermelho (E_A) e azul (E_B), resulta no vetor verde (E_R) e a composição destes três vetores forma um triângulo cuja relação entre as arestas é dada pela lei dos cossenos descrita na equação 5.

$$E_R^2 = E_A^2 + E_B^2 - 2E_A E_B \cos(\beta) \quad (5)$$

Figura 9: Representação esquemática da soma de vetores – Lei dos Cossenos

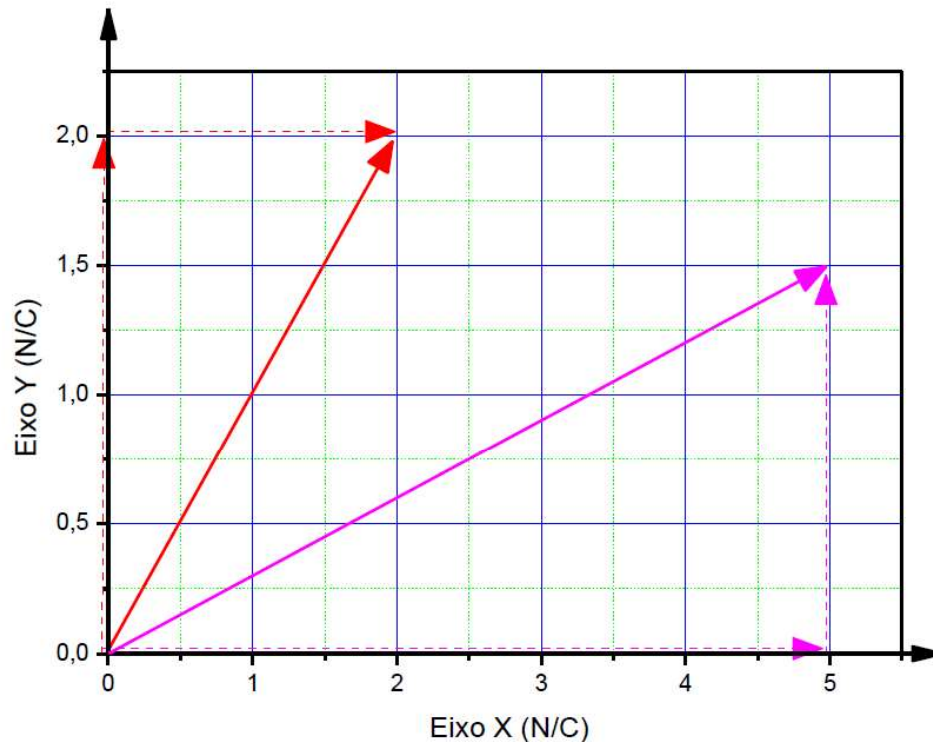


Fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrostatica/campo3.php> acessado em: 10/04/2019.

Vale a pena ressaltar que, embora a equação 5 forneça o módulo do vetor resultante da soma de E_A e E_B , nenhuma informação acerca da orientação de E_R pode ser obtida a partir delas.

Para obter informações acerca da orientação dos vetores, pode-se optar pelo método da soma vetorial de componentes cartesianas que relaciona as orientações de cada um dos vetores com um sistema de coordenadas cartesianas, conforme mostra a Figura 10.

Figura 10: Representação esquemática de vetores no plano cartesiano



Fonte: Autoria própria.

Com base neste método, deve-se inicialmente decompor cada um dos vetores em eixos ortogonais $(\hat{i}, \hat{j}, \hat{k})$. Esta decomposição dará origem às componentes dos vetores que deverão ser somadas em suas respectivas orientações, dando origem ao vetor resultante. Neste caso, estes procedimentos podem ser realizados conforme descrito na sequência.

$$\text{Vermelho: } \vec{E}_1 = (2\hat{i} + 2\hat{j})N/C$$

$$\text{Rosa: } \vec{E}_2 = (5\hat{i} + 1,5\hat{j})N/C$$

$$\vec{E}_R = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \quad (6)$$

Conhecendo as componentes do vetor resultante, pode facilmente expressar seu módulo, $|\vec{E}_R|$, e sua orientação, (θ) , utilizando regras trigonométricas simples, contidas nos conteúdos do Ensino Médio, conforme segue:

$$|\vec{E}_R| = \sqrt{7^2 + 3,5^2} = 7,8 \text{ N/C}$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{3,5}{7}\right) = 26,6^\circ$$

Até o momento foi apresentado detalhes acerca de métodos simples de como proceder com a análise de variáveis vetoriais, que costumeiramente não são tratadas com o devido rigor no Ensino Médio. Os pré-requisitos matemáticos necessários para o desenvolvimento destas análises são tipicamente conduzidos Ensino Médio, porém, a partir desse ponto, serão apresentadas contribuições costumeiramente tratadas no Ensino Superior, que podem ser adaptadas com algumas restrições, enriquecendo os conteúdos da Educação Básica.

Partindo da definição de campo elétrico, gerado por uma partícula (equação 2), a força gerada a partir da interação de uma partícula carregada, Q , e uma carga de prova, tem-se:

$$|\vec{E}| = \frac{|\vec{F}|}{q_0} = \frac{\frac{kQq_0}{r^2}}{q_0} = \frac{kQ}{r^2}$$

$$|\vec{E}| = \frac{kQ}{r^2} \quad (7)$$

A equação 7, descreve a dependência do campo elétrico gerado por uma carga Q , que pode estar localizada sobre um ponto ou sobre uma distribuição esférica (oca ou maciça), desde que r seja maior que o raio da esfera, ou seja, serve para mapear o campo elétrico no exterior da esfera.

No entanto, a carga elétrica pode estar distribuída em objetos e neste caso, a equação 7 não pode ser utilizada diretamente. Nestas situações, precisa-se descrever como será a dependência espacial dessa carga, para tanto, precisamos aproximar o formato do objeto carregado com o modelo de alguma geometria prevista, linha, superfície ou volume. Sendo assim, é possível utilizar três maneiras diferentes para escrever a dependência da carga com o espaço. Considerando distribuições homogêneas de carga,

São elas: densidade linear de cargas λ [C/m], densidade superficial de cargas, σ [C/m²] e densidade volumétrica de carga ρ [C/m³].

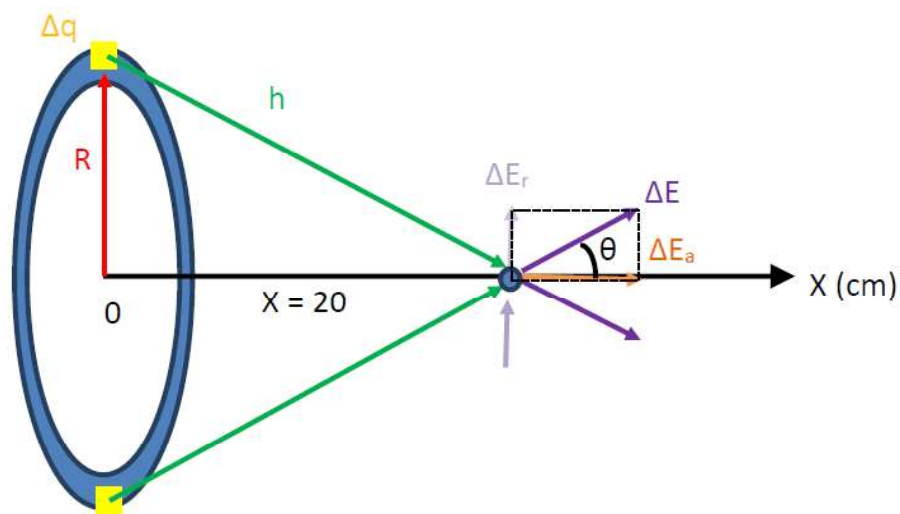
$$\lambda = \frac{Q}{L} = \frac{\Delta Q}{\Delta L} = \frac{dQ}{dL} \quad (8)$$

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{\Delta Q}{\Delta A} = \frac{dQ}{dA} \quad (9)$$

$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{\Delta Q}{\Delta V} = \frac{dQ}{dV} \quad (10)$$

Cabe ressaltar que o cálculo de campo elétrico de distribuições contínuas de cargas normalmente requer conceitos matemáticos ligados ao ensino superior, no entanto, para tratar estes conteúdos no Ensino Médio, pode-se inserir estratégias mais simplificadas, como o processo de discretização de uma distribuição contínua de carga elétrica (divisão de um corpo extenso em pequenos elementos - infinitesimais), que permite substituir uma integral por um somatório. É claro que essa estratégia não pode ser generalizada, no entanto, ela pode ser usada na demonstração da equação que determina o campo elétrico em um ponto x ao longo do eixo de simetria de um anel carregado homogeneamente de raio R , mostrado na Figura 11.

Figura 11: Representação da distribuição de cargas com forma de anel.



Fonte: Autoria própria.

Com base na Figura 11, é possível escolher dois elementos de carga que se

encontram em posições simétricas e verificar que o campo gerado por cada elemento de carga possuirá apenas componentes na direção axial, conforme segue a equação 11.

$$\Delta E_a = \frac{k\Delta q}{h^2} \cos\theta \quad (11)$$

Como os valores de k , h e θ não variam escolhendo qualquer um dos elementos de carga Δq , podendo obter o campo elétrico total no eixo do anel, realizando o somatório de todos os elementos Δq , resultando ao final na carga total, Q , acumulada no anel, conforme descreve a equação 12.

$$E = \sum E_a = \frac{k}{h^2} \cos\theta \sum \Delta q \quad (12)$$

$$E = \frac{kQ}{h^2} \cos\theta$$

Para facilitar a obtenção dos resultados, costumeiramente as grandezas h e $\cos\theta$ são reescritas em função de x e R , conforme as relações abaixo:

$$h = \sqrt{x^2 + R^2}$$

$$\cos\theta = \frac{x}{h} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}$$

Dessa forma, o campo total no eixo do anel, possui direção e sentido no eixo x positivo será descrito conforme a equação (13).


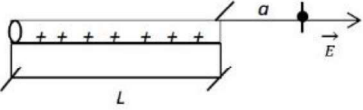
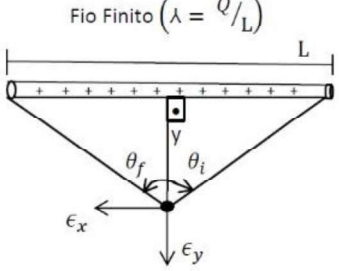
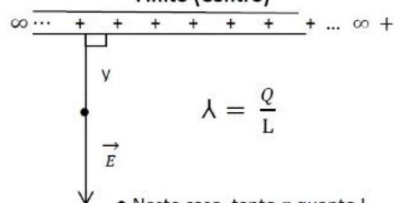
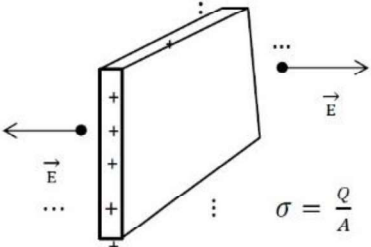
$$\vec{E} = \frac{kQ}{(x^2 + R^2)} \frac{x}{(x^2 + R^2)^{1/2}} \hat{i}$$

$$\vec{E} = \frac{kQx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \hat{i} \quad (13)$$

Considerando as diferentes formas geométricas simples, nas quais a carga elétrica pode ser distribuída, foi preparado o quadro 1 que ilustra com detalhes a forma geométrica da distribuição de cargas, sua respectiva expressão algébrica e suas limitações/cuidados com a aplicação.

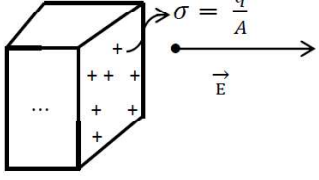
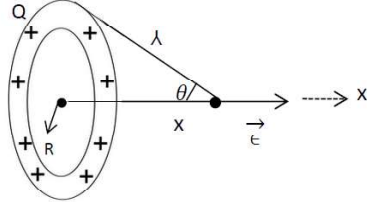
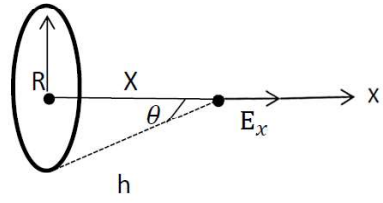
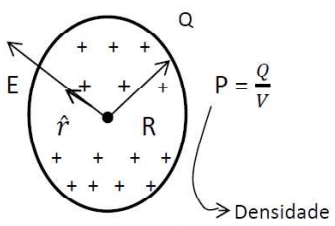
Quadro 2: Representação esquemática de algumas distribuições de cargas elétricas, suas equações e limitações para o uso.

(continua)

<p style="text-align: center;">Carga Pontual</p> 	<p style="text-align: center;">Equação</p> $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$ $ \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$	<p>Limitação / Significado Determina o Campo de cargas e esferas (região externa). Q = Carga (C) r = distância da carga até o ponto que E será determinado (m).</p>
<p style="text-align: center;">Campo no eixo de um fio de comprimento L.</p> 	$ \vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{a(L+a)}$	<p>Serve apenas para calcular o campo na direção do fio. L = Tamanho do fio (m). a = Distância da ponta do fio até o ponto, que se deseja calcular o Campo \vec{E}.</p>
<p style="text-align: center;">Fio Finito ($\lambda = Q/L$)</p> 	$E_y = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 y} \text{sen } \theta \Big _{\theta_i}^{\theta_f}$ $E_x = \frac{\lambda}{4\pi\epsilon_0 y} (-\text{Cos } \theta \Big _{\theta_i}^{\theta_f})$	<p>θ_i sempre será negativo. y = Distância perpendicular ao fio até o ponto onde E será determinado.</p>
<p style="text-align: center;">Finito (Centro)</p>  <p style="text-align: center;">$\lambda = \frac{Q}{L}$</p> <p>• Neste caso, tanto q quanto L não infinitos, mas λ (C/m) será finito.</p>	<p style="text-align: center;">Equação</p> $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \hat{r}$ $ \vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y}$	<p style="text-align: center;">Limitações:</p> <p>Campo será sempre perpendicular ao fio. y = Distância perpendicular ao fio até o ponto onde E será calculado.</p>
<p style="text-align: center;">Plano infinito isolante com σ</p>  <p style="text-align: center;">$\sigma = \frac{Q}{A}$</p>	<p style="text-align: center;">Equação</p> $ \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$	<ul style="list-style-type: none"> O campo independente da distancia com o plano infinito. As linhas de campo são emitidas dos dois lados do plano sempre perpendicular ao plano.

Quadro 2: Representação esquemática de algumas distribuições de cargas elétricas, suas equações e limitações para o uso.

(conclusão)

<p>Plano Espesso Infinito Condutor</p> 	$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	<p>A densidade de carga σ está todo na superfície extrema do plano.</p> <ul style="list-style-type: none"> σ zero campo apenas para o lado de fora do plano.
<p>Campo no Eixo do Anel</p> 	<p>Equação</p> $E_x = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 h^2} \cos \theta$ <p>ou</p> $E_x = \frac{Q x}{4\pi \epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}}$	<p>Campo no Eixo X:</p> <p>R = Raio (m)</p> <p>X = Distância do centro do anel até o ponto onde E é calculado.</p>
<p>Campo no Eixo de um Disco.</p> 	<p>Equação</p> $E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{X}{\sqrt{X^2 + R^2}} \right)$	<p>Serve apenas para calcular o campo no eixo do Disco.</p>
<p>Esfera Isolante $r < R$</p>  <p>Densidade Volumétrica de Carga.</p>	<p>Equação</p> $E = \frac{Q r}{4\pi \epsilon_0 R^3} \hat{r}$ $ E = \frac{Q r}{4\pi \epsilon_0 R^3}$ <p>ou</p> $ E = \frac{\rho r}{3 \epsilon_0}$	<ul style="list-style-type: none"> Sempre E será radial. r = (m) Posição interna onde E será calculado. $\rho = (C/m^3)$ Densidade Volumétrica de Carga.

Fonte: Autoria Própria (2019).

Outro exemplo que auxilia a compreensão dos procedimentos envolvidos na determinação do campo elétrico de uma distribuição contínua de carga é dado pelo simulador *Schanpsidee*. Este simulador é aplicado ao conteúdo de eletrostática e permite obter o valor numérico dos vetores força e campo elétrico de uma distribuição de cargas contínuas para geometrias simples, em qualquer ponto do

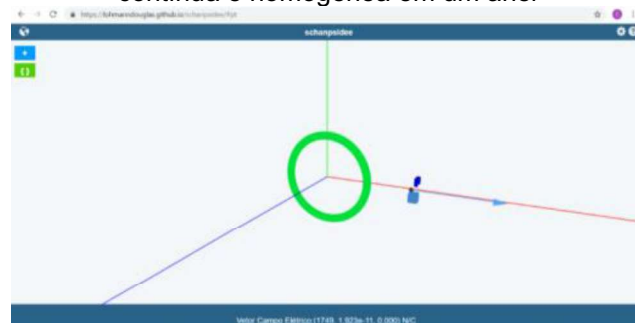
espaço tridimensional. Outras grandezas física, tais como o trabalho e o potencial elétrico, também podem ser obtido através deste simulador. Esse simulador pode ser usado também *off-line* em diferentes dispositivos, celulares, computadores e tablets.

Ao iniciar o contato com o simulador, o estudante terá contato com uma tela inicial que apresenta as principais funcionalidades do simulador. Clicando em OK, terá acesso ao conteúdo do simulador e será orientado a montar um cenário. Clicando por sobre um ou mais objetos (ponto, anel, linha ou disco), será permitida a escolha do valor da carga, da posição e da rotação desse objeto. Também será possível determinar uma ou mais cargas de prova que definirão os pontos do espaço em que se deseja obter o valor da grandeza Física a ser calculada,

Tendo realizado a escolha do cenário de cargas por meio da interface mostrada, clica-se em fechar e dando sequência, o próximo passo que envolve a escolha da grandeza Física que será calculada. A próxima interface mostra detalhes que permite o cálculo e representação de 4 grandezas Físicas, o campo elétrico, E , medido em Volts por Metro (V/m), a força elétrica, F , medida em Newtons (N) o potencial elétrico, V , medido em Volts (V) e o trabalho realizado pela força elétrica, W , medido em Joules (J). Neste trabalho, explorar-se-á as contribuições obtidas pelas determinações de força elétrica e campo elétrico com o uso deste simulador.

Escolhendo por exemplo a grandeza campo elétrico, E , ou a força elétrica, F , após clicar em calcular, o simulador realizará o cálculo numérico, discretizando o objeto em muitas partes (normalmente mais de 1000 partes) e representará no espaço um vetor correspondente à grandeza Física escolhida, conforme mostra a Figura 12. Mais detalhes sobre seu uso podem ser encontrados no produto educacional descrito no anexo A.

Figura 12: Imagem de uma simulação do vetor campo elétrico gerado por uma distribuição de cargas contínua e homogênea em um anel



Fonte: Autoria Própria.

Na sequência, apresentar-se-á os pressupostos acerca da Lei de Gauss, finalizando as discussões sobre os métodos para determinação do campo elétrico mais viáveis para serem implementados ao Ensino Médio.

2.3.4 Lei de Gauss

De notáveis contribuições nos campos da Matemática, Física e Astronomia, Johann Carl Friedrich Gauss, nascido em 30 de abril de 1777 na cidade de Braunschweig, na Alemanha, faleceu aos 77 anos, no dia 23 de fevereiro de 1855 em Göttingen, onde viveu a maior parte de sua vida. De origem humilde – com o Pai sendo jardineiro e pedreiro e sua Mãe analfabeta – encontrou nos estudos das ciências exatas sua profissão, sendo destaque desde sua primeira infância, onde resolveu aos 10 anos, com genialidade, problemas envolvendo progressão aritmética.

No campo da eletrostática, formulou a *Lei de Gauss*, a qual relaciona o fluxo elétrico que atravessa uma superfície fechada com a carga elétrica contida dentro dessa superfície fechada. Algebricamente temos,

$$\Phi_E = \frac{q_{int}}{\epsilon_0} \quad (14)$$

onde, Φ_E define o fluxo elétrico, medido em V*m no SI (Volt vezes Metro) ou N*m²/C (Newton vezes Metro quadrado dividido por Coulomb), q_{int} é a carga interna à superfície fechada.

Na Lei de Gauss, o fluxo elétrico apresenta uma importante contribuição e pode ser compreendido por meio do conceito de linhas de campo – também denominadas linhas de força na literatura científica – que atravessam uma dada área. Abaixo estão elencadas as características associadas às linhas de campo elétrico.

As linhas de campo sempre começam nas cargas elétricas positivas e terminam nas cargas negativas, de modo que, quanto maior for a densidade de linhas de campo em uma dada região do espaço, maior será a intensidade do campo elétrico nesta região. Outra característica das linhas de campo implica que elas

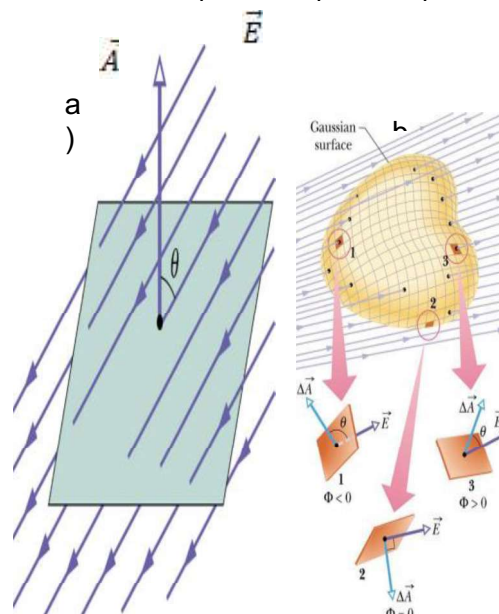
nunca se cruzarão em qualquer ponto do espaço, de modo que o vetor campo elétrico é sempre tangente a qualquer ponto das linhas de campo.

Considerando a representação do campo elétrico por meio de linhas de campo, pode-se relacionar a grandeza Física fluxo elétrico com a quantidade de linhas de campo que atravessam uma dada área, ou seja, quanto maior o número de linhas de campo que atravessam uma dada área, maior será o fluxo elétrico. Matematicamente o fluxo elétrico é definido pelo produto escalar entre o campo elétrico e o vetor de área (um vetor cujo módulo representa a área e tem orientação perpendicular à superfície). O produto escalar, representado pelo símbolo ponto (\cdot), resulta no produto do módulo de um vetor projetado sobre o módulo de outro vetor, conforme descreve a equação 15.

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = |\vec{E}| * |\vec{A}| * \cos\theta \quad (15)$$

A Figura 13 auxilia a interpretação de cada uma das variáveis associadas à equação 15, na qual θ define o ângulo entre os vetores de campo e de área.

Figura 13: Representação do fluxo elétrico em diferentes superfícies. a) Representa o fluxo elétrico uniforme fazendo ângulo θ com a área A. b) representa o fluxo em uma superfície fechada, negativo quando entra na superfície e positivo quando sai.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

Analisando a Figura 13, nota-se que o vetor de área sempre apontará para

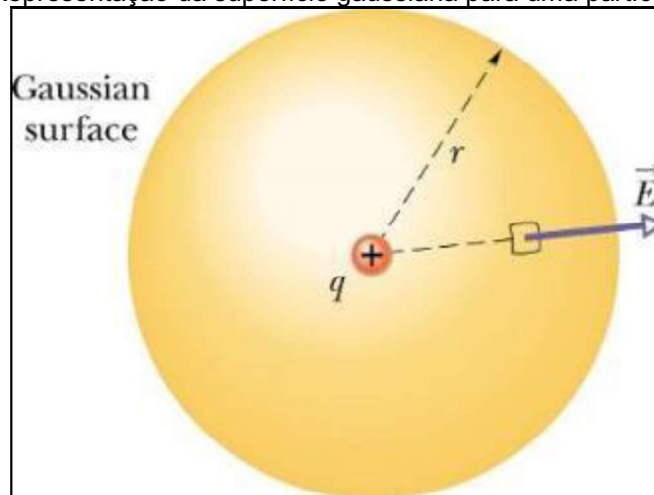
fora do volume descrito pela superfície fechada, utilizada na Lei de Gauss para envolver a carga geradora de fluxo. Outro cuidado importante que deve ser observado está relacionado com a uniformidade do campo ao longo da área e sua respectiva orientação. Nos casos em que o campo não é constante por toda a extensão da área, ou não possui a mesma orientação em cada ponto da área, como no caso descrito na Figura 13b), é preciso que a área total da superfície atravessada pelo fluxo, seja dividida em pequenas partes, objetivando com isso que o vetor de campo elétrico se mantenha praticamente constante em cada uma dessas partes, ou seja, não apresente variação no seu módulo ou na sua orientação. Ao final, é realizada o somatório do fluxo elétrico de cada uma dessas pequenas partes, resultando no fluxo total da superfície. Porém, este procedimento normalmente requer uma fundamentação matemática costumeiramente aplicada em graduações da área de ciências exatas, na disciplina de cálculo integral e diferencial, conforme descreve a equação 16.

$$\Phi_E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} E_i * \Delta A_i * \cos\theta_i = \int \vec{E} \cdot \overrightarrow{dA} \quad (16)$$

A transposição didática desse conteúdo para o Ensino Médio pode ser realizada considerando apenas os casos em que o campo elétrico é constante, uniforme e homogêneo, podendo dessa forma simplificar a equação (16), obtendo a equação (15). Combinando a equação (15) com a Lei de Gauss (14), obtém-se uma nova ferramenta para determinar o campo elétrico, conforme os exemplos descritos a seguir:

No primeiro caso, “*o campo de uma partícula carregada ou de uma esfera carregada homogênea*”, o campo elétrico possui uma direção radial, gerando um fluxo elétrico homogêneo ao longo de uma superfície esférica imaginária de raio r – a superfície gaussiana – concêntrica à carga, conforme ilustrado na Figura 14.

Figura 14: Representação da superfície gaussiana para uma partícula carregada.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

Analisando a Figura 14, constata-se que o campo elétrico sempre será perpendicular à superfície gaussiana e como o fluxo elétrico é homogêneo ao longo dela, o campo elétrico será constante em todos os pontos da superfície. Neste cenário, o campo elétrico pode ser obtido algebricamente em qualquer ponto da superfície gaussiana da seguinte forma,

$$\phi_E = |\vec{E}| * |\vec{A}| * \cos\theta = \frac{q_{int}}{\epsilon_0} \quad (17)$$

onde $\theta = 0$, a área da esfera gaussiana vale $A = 4\pi r^2$ e a carga interna q_{int} é a carga da própria partícula. Utilizando estes dados na Lei de Gauss, tem-se:

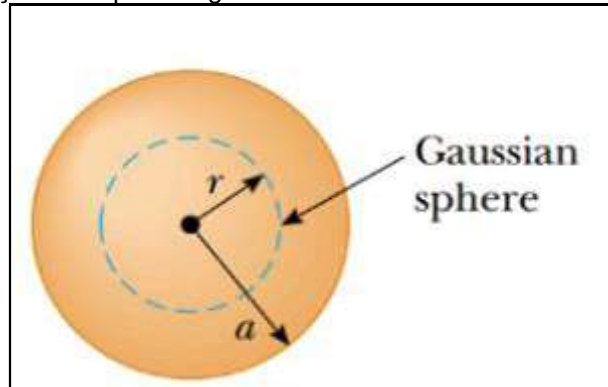
$$E(4\pi r^2)(1) = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (18)$$

Cabe ressaltar que a equação acima, que também pode ser obtida pela lei de Coulomb, descreve o campo elétrico para uma partícula carregada e vale também para esferas carregadas de raio a , desde que o raio r seja maior que a .

Caso desejarmos calcular o campo em uma posição r , interna a uma esfera uniformemente carregada de raio a , ($r < a$), precisa-se inicialmente identificar qual será a carga acumulada na esfera gaussiana r , conforme mostrado na Figura 15.

Figura 15: Representação da superfície gaussiana interna a uma esfera uniformemente carregada.



Fonte: Modificado do livro Princípio de Física. Serway, Jewett, Jr. (2014).

Considerando que a carga esteja uniformemente distribuída, que implica em uma densidade de cargas constante, calcula-se a proporção entre a carga total acumulada na esfera e a carga da esfera gaussiana em termos da carga total, conforme segue abaixo.

$$\rho = \frac{q_{int}}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{Q_{tot}}{\frac{4}{3}\pi a^3}$$

$$q_{int} = \frac{Q_{tot} * r^3}{a^3}$$
(19)

Partindo da Lei de Gauss equação (19), neste caso o ângulo θ entre o vetor de campo e o vetor normal à área é nulo, sendo assim,

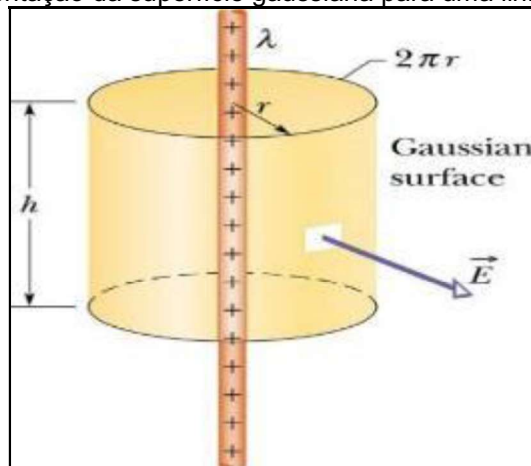
$$E * 4\pi r^2 = \frac{Q_{tot} * r^3}{\epsilon_0 a^3}$$

$$E = \frac{Q_{tot} * r}{4\pi \epsilon_0 a^3}$$
(20)

onde, Q_{tot} representa a carga total na esfera de raio a , e r representa a posição onde o campo será determinado.

No segundo caso possível de ser abordado no Ensino Médio, “o campo de uma linha infinita de cargas”, o campo elétrico terá direção radial e também será perpendicular à linha de cargas. Para obter o valor do campo, utilizou-se uma superfície gaussiana cilíndrica, concêntrica à linha de cargas, conforme descreve a Figura 16.

Figura 16: Representação da superfície gaussiana para uma linha infinita de cargas.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

A superfície cilíndrica apresentada na Figura 16 pode ser dividida em 3 partes, duas tampas circulares de área (πr^2) cada uma e a superfície lateral de área $(2\pi r h)$. É importante notar que nas tampas circulares do cilíndrico, o fluxo elétrico é nulo, pois o campo elétrico é radial e os vetores normais nas tampas são axiais, ou seja, ambos os vetores são ortogonais. No entanto, ao longo da superfície lateral, o fluxo elétrico pode ser obtido pelo produto do campo pela área, pois os dois vetores são paralelos. Algebricamente se pode representar essa informação da seguinte forma:

$$E * 2\pi r h = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{h} \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (21)$$

Analisando a equação (25), vê-se que para uma linha infinita de cargas homogeneamente distribuídas, tanto q_{int} quanto h tendem ao infinito, porém, a razão entre essas duas grandezas é finita, chamada de densidade linear de cargas (λ), definida na equação (8).

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (22)$$

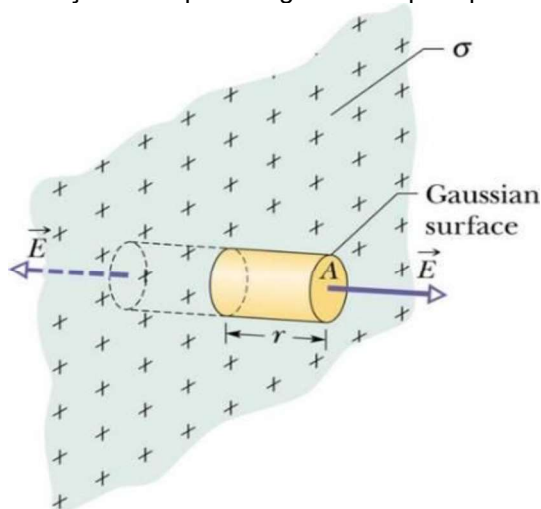
Cabe destacar que na prática, uma linha infinita de cargas descreve uma situação praticamente impossível de ser realizada, em função da sua dimensão

infinita e da necessidade de transferir infinitas cargas para essa linha. No entanto, representa um modelo apropriado para analisar os casos em que $r \ll h$, ou seja, quando a linha é finita e se deseja determinar o campo em um ponto próximo do centro dessa linha.

Por fim, o terceiro caso “o campo de um plano infinito de cargas”, é usado para tratar os casos em que se deseja determinar o campo elétrico em uma distância d , muito próxima do centro de um plano que possui dimensões finitas, muito maiores que d . A partir deste modelo, analisa-se algumas situações que derivam diferentes resultados.

Caso o plano seja muito fino (isolante ou condutor), a carga depositada homogeneamente no plano correlacionada com sua área, resulta em uma densidade de cargas superficiais constante – conforme a equação (9) – que gera fluxo elétrico para ambos os lados do plano, conforme a Figura 17:

Figura 17: Representação da superfície gaussiana para plano infinito de cargas.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

Nesta situação, as duas áreas circulares do cilindro (πr^2 cada) serão atravessadas perpendicularmente pelo fluxo elétrico, enquanto que ao longo da superfície lateral, o fluxo será nulo. Aplicando a Lei de Gauss nessa situação, tem-se:

$$E * A * \cos 0 + E * A * \cos 0 = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E(2)A = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{2\epsilon_0 A}$$

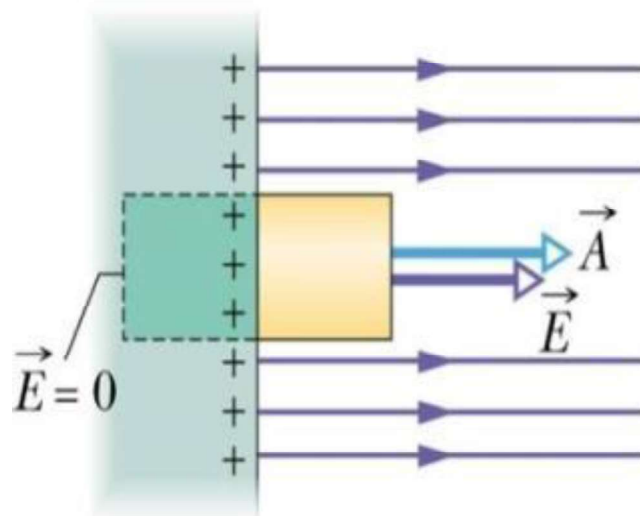
Usando a equação (9), $\sigma = q/A$:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (23)$$

Cabe destacar da equação (23) que o campo elétrico não depende da distância do plano, desde que o modelo “plano infinito” seja respeitado, ou seja, as dimensões do plano de cargas devem ser muito maiores do que a distância com o plano em que o campo será determinado. Como o campo, neste caso, não depende da posição, ele é dito constante, ou seja, as linhas de campo serão igualmente espaçadas, perpendiculares ao plano. Dessa forma, uma partícula de carga elétrica q e massa m imersa neste campo, sentirá uma força que também será constante. Como a força elétrica será constante nesta situação, a aceleração também será constante, sendo assim, podemos aplicar todas as equações da cinemática, características do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), na direção do campo elétrico, colinear à força e à aceleração.

Caso o plano condutor seja espesso, em cada uma das faces do plano infinito será estabelecida uma densidade de cargas σ constante, que será responsável por gerar um fluxo elétrico saindo do plano, conforme descreve a Figura 18.

Figura 18: Representação da superfície gaussiana para plano infinito condutor e espesso de cargas.

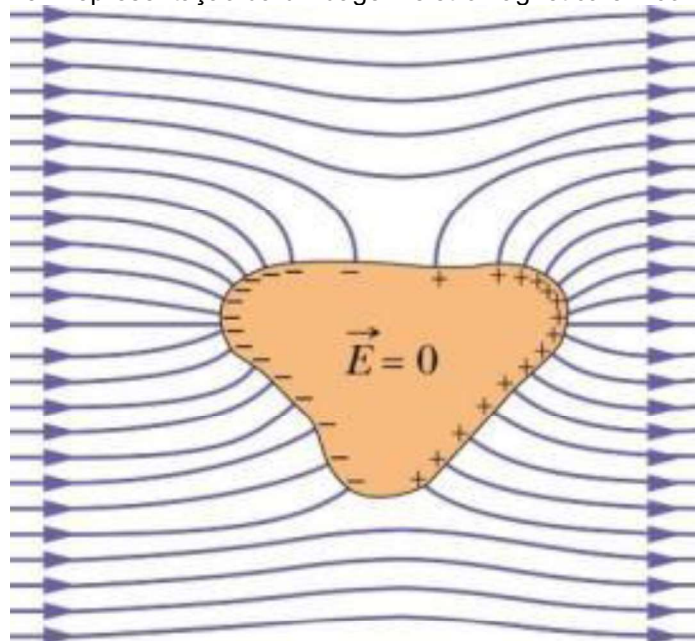


Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009). Partindo da Lei de Gauss aplicada a esta situação, temos:

$$\begin{aligned}
 E * A * \cos 0 &= \frac{q_{int}}{\epsilon_0} \\
 E &= \frac{q_{int}}{A \epsilon_0} \\
 E &= \frac{\sigma}{\epsilon_0}
 \end{aligned}
 \tag{24}$$

Cabe ressaltar que nesta situação a densidade de carga concentrada apenas nas faces do plano gerará um campo elétrico, assim como um fluxo, que será o dobro daquela gerada quando o plano é muito fino. Uma consequência direta dessa verificação está relacionada com a repulsão Coulombiana e com a Lei de Gauss, gerando no interior dos condutores uma região ausente de cargas responsável pela blindagem eletrostática, ou seja, uma região onde o campo elétrico é nulo, conforme mostra a Figura 19.

Figura 19: Representação da blindagem eletromagnética em condutores.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

A verificação experimental da blindagem eletromagnética ocorreu por meio de um experimento chamado “*Gaiola de Faraday*”, em homenagem ao seu idealizador, Michael Faraday (1791-1867), que em 1836 se posicionou dentro de uma gaiola metálica que foi submetida a fortes descargas elétricas, nada acontecendo a ele. Sendo assim, Faraday demonstrou que nos condutores todo excesso de cargas se distribui na superfície externa, deixando seu interior isento de cargas elétricas - o

que resulta em campo elétrico nulo nessa região - prevenindo de descargas elétricas. Este mesmo fenômeno justifica a utilização de gabinetes metálicos, empregados para proteger os circuitos de equipamentos eletrônicos que não podem ser submetidos às influências de campos elétricos externos. Além disso, é devido à blindagem eletrostática que se abriga dentro de um carro ou um avião durante uma tempestade, garante a proteção e segurança de pessoas contra os danos causados pelas descargas elétricas originadas por raios.

Entende-se, portanto que os conteúdos elencados acima podem ser desenvolvidos no Ensino Médio, abordando os exemplos nos quais o formalismo matemático seja compatível com as propostas curriculares previstas nas diretrizes de ensino. Na sequência, descreveu-se os métodos e procedimentos adotados no desenvolvimento e confecção do produto educacional.

3 MÉTODO E PROCEDIMENTOS

Este trabalho tem por objetivo elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta didático-pedagógica sobre os conteúdos de Lei de Coulomb e da Lei de Gauss, inserido na disciplina de Física do Ensino Médio. Para tanto, foi utilizado como referencial teórico-metodológico para esse trabalho a Pedagogia Histórico-Crítica, que dentre outras coisas, defende a difusão do conhecimento construído, sistematizado e acumulado pela humanidade ao longo da história a todos, indistintamente. A justificativa para escolha do tema de trabalho ocorreu em função de uma análise inicial que indicou a escassez de materiais e atividades teórico-práticas disponíveis para tratar estes conteúdos no Ensino Médio, além da forma como a mesma tem sido desenvolvida no contexto da sala de aula.

Visando ampliar as discussões e contribuir com as produções existentes sobre o tema, a pesquisa-intervenção desenvolvida neste trabalho utilizou a abordagem qualitativa no tratamento dos dados, como indicado por Minayo (2001), pois permite avaliar os resultados obtidos por diferentes perspectivas, avaliando o universo de significados, motivos, aspirações, crenças, valores e atitudes, o que corresponde a um espaço mais profundo das relações, dos processos e dos fenômenos que não podem ser reduzidos à operacionalização de variáveis. Sobre a relação entre a metodologia de pesquisa adotada e a abordagem de análise dos dados, Rosa (2010) afirma que:

Novos métodos de ensino ou novas tecnologias são exemplos de pesquisas introduzidos para serem avaliados quanto à sua influência na aprendizagem, pelos alunos, de determinados conteúdos. Determinados temas ou assuntos induzidos nas atividades com os alunos também são exemplos de estudos que têm esta natureza, ou seja, ocorrem as mudanças de percepção. (ROSA, 2010, p. 40)

Dando seguimento, foram elaborados materiais e recursos presentes no nosso produto educacional. Este produto é composto por um Plano de Unidade, com a finalidade de oferecer uma proposta diferenciada, simples, coerente e voltada a professores e estudantes na abordagem dos conteúdos de Lei de Coulomb e Lei de Gauss no Ensino Médio. Os dados descritos ao longo deste trabalho foram obtidos a partir da análise de três turmas do 3º ano do Ensino Médio em três colégios estaduais pertencente ao Núcleo Regional de Educação de Toledo, Paraná, nos períodos:

matutino, vespertino e noturno, abrangendo um total de 61 alunos.

A seguir, apresentar-se-á com mais detalhes sobre a metodologia utilizada na construção dos dados e sobre a realidade social, na qual a escola e os alunos estão envolvidos.

3.1 PROCEDIMENTOS DE CONSTRUÇÃO DOS DADOS

Com o surgimento de novos materiais, tecnologias ou propostas curriculares surgem diferentes formas de abordar os conteúdos. Neste sentido, as ações desenvolvidas neste trabalho, foram planejadas com o intuito de fornecer novas estratégias de ensino, atualizando atividades teórico-práticas, diferentes tecnologias, buscando sempre contribuir com a melhoria do processo de ensino-aprendizagem.

Inicialmente, com o objetivo de caracterizar o problema de estudo proposto, foi realizada uma revisão bibliográfica nas principais bases de dados, visando entender como os livros didáticos, os documentos oficiais e pesquisas têm tratado o conteúdo Lei de Coulomb e seus pré-requisitos. Encontrou-se registro deste conteúdo nos documentos oficiais nacionais: Os PCNs e nos documentos estaduais norteadores: Diretrizes Curriculares da Educação Básica de Física (DCEs), ressaltando sua necessidade e relevância para a formação mais ampla do cidadão, porém, foi constatado que os livros didáticos de Física, sugeridos pelo núcleo regional de ensino, não tratam deste conteúdo com o devido rigor.

No segundo momento ocorreu a efetivação do processo de intervenção, ou seja, a construção dos dados iniciando pelo plano de unidade que trata dos conceitos de força elétrica, carga elétrica e suas propriedades; condutores e isolantes; processos de eletrização; análise de experimentos, relacionando os efeitos obtidos com a Lei de Coulomb; representação das linhas de campo elétrico, identificando as condições de atração ou repulsão entre as cargas; fluxo elétrico e Lei de Gauss. Para tanto, auxiliando no desenvolvimento do conteúdo, utilizou-se estratégias de ensino de conta para resolução de situações-problema, o desenvolvimento de atividades teórico-práticas confeccionadas a partir de materiais de baixo custo, bem como um simulador *Schanpsidee*, desenvolvido pelo cientista da computação, Douglas Lohmann, utilizado no aprofundamento dos conceitos relacionados ao campo elétrico tratados em nosso produto educacional. Essas estratégias de ensino estão disponibilizadas detalhadamente no Plano de Unidade

(apêndice A), tendo a finalidade de oferecer aos professores e estudantes uma proposta diferenciada, simples, coerente e investigada a professores e estudantes na abordagem do conteúdo de Lei de Coulomb e Lei de Gauss no Ensino Médio.

Após a elaboração do Plano de Unidade, deu-se o início do processo de intervenção em sala de aula. Antes de realizar o primeiro contato dos alunos com o material, foi solicitada a concordância do(a) diretor(a) da escola, da equipe pedagógica, da professora regente da turma e dos estudantes envolvidos a partir das assinaturas por meio de um Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (apêndice B) para a implementação do produto educacional em sala de aula.

A intervenção foi realizada no 3º trimestre de 2019, em um período de 12 hora/aulas de 50 minutos cada, tendo em vista que o conteúdo de eletrostática é trabalhado com os educandos de maneira superficial no Ensino Médio, e neste sentido, esta proposta de trabalho vem propor possibilidades de melhor entendimento deste conteúdo que segue apresentada no plano de unidade (apêndice A).

Ao Plano de Unidade também foi incorporado um questionário que foi utilizado no início e no final do desenvolvimento das atividades. As questões incorporadas nos questionários inicial e final buscam trabalhar e abordar temas como: as contribuições dos cientistas à Ciência, a importância dos fenômenos elétricos, da carga elétrica, do modelo atômico e suas propriedades, bem como, introduzir os conceitos de força elétrica revisando os conceitos dos processos de eletrização, material condutor e isolante, a lei de atração e repulsão (Lei de Coulomb), e identificar e aplicar a Lei de Gauss, de forma que o aluno possa compreender esse importante princípio da Física e o relacionar com situações do cotidiano.

O questionário inicial teve como objetivo principal identificar quais eram os conhecimentos prévios trazidos pelos estudantes, sendo que o mesmo foi também aplicado no momento final para observar se o aprendizado dos alunos foi satisfatório e quais os pontos que mereciam uma atenção especial, efetivando o processo de ensino aprendizagem.

3.2 PERFIS DAS ESCOLAS E DAS TURMAS ENVOLVIDAS

Os Colégios em que foi desenvolvida esta proposta pertencem à rede estadual e fazem parte do Núcleo Regional de Educação de Toledo, localizado na região oeste do Estado do Paraná, tendo seu aspecto econômico

predominantemente agrícola, com destaque para produtos agropecuários, como: milho, soja, aves, peixes, suínos e bovinos. A renda familiar dos alunos destas escolas é baseada em salário mínimo, em que a grande maioria, em torno de 57%, sobrevive com até um salário mínimo. Outra grande parte, em torno de 32% da comunidade escolar ganha entre 1 a 2 salários mínimos mensalmente e um pequeno grupo 11% recebe mais que três salários mínimos. Constatou-se, através dos dados obtidos em pesquisa ao Projeto Pedagógico da escola, que o emprego dos pais varia entre Funcionário Público, agricultor, profissional liberal, empregada doméstica e uma grande parte trabalha em cooperativas e frigoríficos em outros municípios, caracterizando a cidade em que residem como município dormitório e o que mais predomina é a agricultura familiar e pequenos produtores.

Através de dados encontrados nos documentos dos colégios, como o PPP (PROJETO POLÍTICO PEDAGÓGICO), verifica-se que os pais, em sua grande maioria, possui Ensino Fundamental incompleto, alguns são analfabetos e uma pequena parcela possui ensino superior. Por outro lado, um fator que colabora com o processo de aprendizagem dos estudantes é a presença e atuação das famílias na vida escolar dos alunos, reforçando o comprometimento dos filhos nas atividades escolares, enaltecendo a necessidade da educação de qualidade para os filhos. No entanto, cabe destacar que é comum verificar, entre os estudantes, a presença de conceitos baseados em crenças, costumes e conhecimentos do cotidiano, que quando mal trabalhados podem dificultar a atuação da escola. As famílias, mesmo enfrentando algumas dificuldades como baixo salário, desemprego e problemas relacionados com a assistência à saúde de qualidade, buscam na educação escolar uma melhoria para seus filhos, acreditando que o estudo poderá formar um cidadão crítico e ativo na sociedade.

Nesse sentido, como afirma Saviani (1991) em sua obra “Pedagogia Histórico Crítica: Primeiras Aproximações”, os pais procuram enfatizar aos seus filhos várias experiências que passaram e como os estudos fazem falta para sua vida futura. Assim, diante desses apontamentos, optou-se por desenvolver nosso produto educacional nos referidos colégios, em função do seu comprometimento com a aprendizagem, sendo eles: um Colégio Estadual, localizado no município de São Pedro do Iguaçu, que atende um total de 412 alunos, sendo 281 no Ensino Fundamental, 131 no Ensino Médio, 56 em Atividades Complementares e 14 em Atendimento Educacional Especializado; outro Colégio Estadual, localizado no

distrito de Luz Marina e pertencente ao município de São Pedro do Iguaçu, que atende um total de 158 alunos, sendo 115 no Ensino Fundamental, 43 no Ensino Médio e 9 alunos são Atendimento Educacional Especializado (Sala de Recursos Multifuncional) e o Colégio Estadual, localizado no município de Toledo, que atende um total de 651 alunos, sendo 433 no Ensino Fundamental, 218 no Ensino Médio, 18 em Atividades Complementares e 24 em Atendimento Educacional Especializado. Nessas escolas, além de encontrarmos profissionais atuantes e comprometidos com a educação, também tiveram com alunos presentes e engajados nas propostas e projetos dentro do ambiente escolar. Estes colégios também apresentam uma estrutura física muito adequada para as condições de aprendizagem, tendo aparelhos de ar condicionados e televisores em todas as salas de aula, laboratório de ciências e informática, biblioteca, quadras poliesportiva cobertas, e também alguns projetores multimídia para uso dos professores.

A intervenção foi desenvolvida no 3º trimestre, visto que a instituição trabalha o ensino por trimestre, levando em conta a organização curricular das escolas participantes dessa pesquisa. A mesma ocorreu nos períodos: matutino com total de 06 alunos, vespertino com 18 alunos e noturno com 37 alunos, abrangendo um total de 61 alunos no turno escolar. Cabe destacar que a turma do período noturno se apresentava bastante numerosa, tendo em vista o remanejamento de alguns alunos para o período noturno em função do ingresso destes no mercado de trabalho, considerando as demandas do comércio local, das empresas da região e das oportunidades geradas pelo programa Jovem Aprendiz. A implementação deste produto educacional (plano de unidade) do ensino de Física aconteceu no decorrer de seis semanas, totalizando 12 horas/aulas de 50 minutos. Na sequência, será apresentado os detalhes de como foi realizada a coleta dos dados da implementação do produto educacional.

3.3 PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE DOS DADOS

Iniciou-se a terceira etapa da pesquisa que envolveu a coleta e análise dos dados, pois de acordo com Lüdke e André (2014), no momento da análise dos dados o pesquisador deve rever suas ideias iniciais, ponderar, revisar e reorganizar, a fim de que novas ideias possam surgir nesse processo.

Antes de tudo, vale lembrar que a análise dos dados seguiu os pressupostos

da pesquisa qualitativa, pois foram analisados dados coletados em todo o processo de desenvolvimento da pesquisa. Após a conclusão de todas as etapas da pesquisa, os dados foram organizados de maneira a dar sustentação e consistência ao trabalho, considerando-se o referencial teórico adotado, demarcando a direção do referido estudo. O processo de coleta de dados envolveu a observação e registro das ações e comportamentos dos alunos durante a realização das atividades propostas, a análise dos questionários inicial e final, registro de fotos e vídeos, além dos relatórios das aulas.

Para uma melhor organização deste trabalho de pesquisa, realizou-se primeiramente a análise dos dados obtidos através do questionário inicial. A princípio, não foi algo simples, visto que naquele momento se estava lidando com diferentes ideias, ou seja, diferentes saberes. Como afirma Lüdke e André (1986), esse é o momento em que se exige um treinamento, um domínio dos sentidos para se centrar nos aspectos relevantes que almeja alcançar. Num segundo momento, após a transcrição dos dados analisados do questionário inicial, recorreu-se às fontes disponíveis em consonância com esse trabalho, a fim de estabelecer um equilíbrio para a análise dos dados com os objetivos da pesquisa, juntamente com o referencial teórico adotado para o estudo.

Para tanto, em última análise, de posse de todos os dados da pesquisa que angariados durante a intervenção e as atividades avaliativas desenvolvidas, iniciou-se a organização e análise dos dados por meio das técnicas de triangulação de fontes e categorização de dados (LUDKE; ANDRÉ, 2013), tendo como base o referencial teórico que norteia o presente estudo.

Através dos dados obtidos, determinando as tendências e os níveis de organização, foi possível elaborar seis tópicos de análise que correspondem à conexão entre os objetivos específicos da intervenção, os instrumentos de construção dos dados e os tópicos de análise que seguem apresentados nos quadros abaixo:

Quadro 3: Tópico de Análise 1

TÓPICO DE ANÁLISE 1	
Objetivos Específicos	Diagnosticar conceitos básicos de eletricidade, estrutura atômica e a Lei de Coulomb (lei de atração e repulsão) através de um questionário inicial escrito e de discussão oral sobre o tema, este tem como objetivo explorar os conhecimentos prévios dos alunos e a partir desse levantamento, iniciar a problematização do conteúdo.
Instrumentos de construção de dados	Questionário; Vídeo; Material impresso; Data Show ou TV multimídia; Quadro de giz; Lista de exercícios;
Tópico de Análise	Partindo da prática social inicial: eletricidade, sua origem, carga elétrica, modelo atômico e propriedades.

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 4: Tópico de Análise 2

TÓPICO DE ANÁLISE 2	
Objetivos Específicos	Caracterizar os materiais condutores e isolantes; esclarecer o significado de cada material condutor e isolante. Compreender a série triboelétrica e os processos de eletrização (contato, indução e atrito), permitindo a relação do conteúdo com o cotidiano do aluno.
Instrumentos de construção de dados	Material impresso; Laboratório de Física; Experimento sobre condutor e isolante os processos de eletrização; Bancada de apoio ao experimento; Data Show ou TV multimídia; Quadro de giz; Lista de exercícios;
Tópico de Análise	Problematizando a prática social e instrumentalização dos conteúdos conceituais, científicos e social sobre materiais condutores, isolantes e os processos de eletrização.

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 5: Tópico de Análise 3

TÓPICO DE ANÁLISE 3	
Objetivos Específicos	Introduzir a força elétrica, revisando os conceitos dos processos de eletrização, material condutor e isolante, a lei de atração e repulsão (Lei de Coulomb), de forma que o aluno compreenda esse importante princípio da Física e relacione com situações do cotidiano.
Instrumentos de construção de dados	Livros; Material impresso; Lista de exercícios; Quadro de giz.
Tópico de Análise	Problematizando a prática social e instrumentalização dos conteúdos conceitual e científico: Lei de Coulomb (lei de atração e repulsão) força elétrica.

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 6: Tópico de Análise 4

TÓPICO DE ANÁLISE 4	
Objetivos Específicos	Diferenciar campo elétrico de carga elétrica; calcular campo elétrico gerado por uma carga puntiforme e por outras distribuições de carga em diferentes geometrias; distribuição em uma única reta e em um único plano; analisar o campo elétrico na superfície e no interior de um condutor; reconhecer o efeito de blindagem eletrostática; reconhecer as propriedades do campo elétrico uniforme e identificar métodos para sua obtenção. Apresentação e uso do simulador <i>Schanpsidee</i> utilizado na determinação da força elétrica e do campo elétrico gerados por distribuições contínuas de cargas.
Instrumentos de construção de dados	Laboratório de informática; Material impresso; Lista de exercício; Discussão oral dialogada; Quadro de giz.
Tópico de Análise	Problematizando a prática social e instrumentalização dos conteúdos conceitual e científico: campo elétrico na superfície e interior de um condutor, blindagem eletrostática e uso do simulador <i>Schanpsidee</i> .

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 7: Tópico de Análise 5

TÓPICO DE ANÁLISE 5	
Objetivos Específicos	Descrever matematicamente o fluxo elétrico em uma superfície aberta; representar o campo elétrico por meio das linhas de campo; identificar a Lei de Gauss como uma das equações de Maxwell. Compreender o conceito de fluxo elétrico, relacionando-o ao campo elétrico. Analisar o comportamento do fluxo elétrico em uma superfície fechada. Aplicar a Lei de Gauss para o cálculo da carga contida em uma superfície fechada.
Instrumentos de construção de dados	Material impresso; Discussão oral dialogada; Lista de exercícios; Quadro de giz;
Tópico de Análise	Problematizando a prática social e instrumentalização dos conteúdos conceitual e científico: fluxo elétrico, campo elétrico, Lei de Gauss.

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 8: Tópico de Análise 6

TÓPICO DE ANÁLISE 6	
Objetivos Específicos	Discutir com os alunos os principais conceitos envolvidos através de um questionário final, relacionando com o questionário inicial, com o intuito de avaliar a apropriação dos conceitos científicos trabalhados durante os encontros e verificar a existência de possíveis imprecisões que mereçam atenção.
Instrumentos de construção de dados	Material impresso; Discussão oral dialogada;
Tópico de Análise	Retornando a prática social com o compromisso e a capacidade de agir e refletir sobre a realidade. Considerações finais a respeito do questionário inicial.

Fonte: Autoria própria (2019).

Destacou-se ainda que a participação dos estudantes neste estudo só foi concedida a partir da assinatura do “Termo de Consentimento Livre e Esclarecido”, que se encontra no Apêndice B dessa dissertação. Cabe enfatizar que os alunos tiveram suas identidades preservadas, não sendo divulgada nenhuma informação, respeitando o sigilo absoluto e o foco principal à pesquisa. Para garantir a integridade dos estudantes, foi tomado o devido cuidado de usar apenas letra e um número para identificá-los, como por exemplo: A01, A02, A03..., sendo firmado um compromisso ético, moral com o conhecimento científico, mediante a análise de seus relatos, consolidando assim um compromisso de responsabilidade profissional na produção deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A educação é considerada como uma via a serviço da democratização, contribuindo para o progresso individual e dos grupos sociais, com um olhar mais próximo da contemporaneidade e formando pessoas atuantes na sociedade. Todavia, os conteúdos curriculares devem ser ensinados de maneira que ocorra a interação dos conhecimentos prévios trazidos pelos educando, a sua história e o meio social inserido.

Autores como Saviani (1986) e Moreira (1999) são pesquisadores que buscaram relacionar teorias pedagógicas com as práticas educativas, enfatizando os conteúdos com as realidades sociais, sendo necessário enfatizar o conhecimento formulado e utilizado em diferentes épocas. A aprendizagem significativa ocorre diante de um novo estudo, ou seja, uma nova informação, o que nos leva a concluir que estas relações acontecem porque os conhecimentos são construídos por um ato social, que faz parte da experiência pessoal, por meio da aquisição de conteúdos e da socialização do ensino aprendizagem que tem como foco o conhecimento do indivíduo.

Tendo em vista essas considerações na educação, procurou-se através da elaboração, planejamento e avaliação de uma proposta didático-pedagógica, desenvolver uma estratégia facilitadora de ensino, motivados pela busca de uma interação dialética que tem como ponto inicial e final a atuação do educando na prática social que está inserida. Este processo é caracterizado, num primeiro momento pelo envolvimento do aluno na construção ativa de sua aprendizagem, conscientizando-o de sua importância no processo histórico de acordo com a sua realidade vivenciada.

Pensando nesses pressupostos, foi desenvolvido o produto educacional, o Plano de Unidade (Apêndice A), que apresenta o conteúdo visando alcançar o envolvimento do aluno, de forma que desenvolva a capacidade de tomar uma decisão na sua aprendizagem dentro e fora da sala de aula com conhecimento acumulado. Sabe-se que a intervenção não foi uma tarefa simples, primeiro pelo fato do cansaço dos alunos, uma vez que, como mencionado em capítulo anterior, a escola oferta ensino regular e a maioria dos alunos trabalham no contra turno em função da faixa etária avançada, resultando em um cansaço demasiado apresentado por alguns jovens, gerando desmotivação, justificando, dessa forma, a resistência na aplicação do

questionário inicial, no qual 5 dos 61 alunos optaram por não responder as questões.

Na sequência serão apresentados os resultados da pesquisa-intervenção em seis tópicos de análise, de acordo com o referencial teórico e os procedimentos metodológicos adotados nesta pesquisa.

4.1 PARTINDO DA PRÁTICA SOCIAL INICIAL: A CARGA ELÉTRICA

As interações com os estudantes foram iniciadas buscando diagnosticar os conhecimentos dos nossos educandos, a partir disso, relacionar e contextualizar com os conteúdos que estão previstos no plano de unidade. Partindo dessa ideia, o professor deve preparar, planejar com segurança e com maior conhecimento científico o processo de ensino, visando melhorar a aprendizagem dos alunos.

Segundo Gasparin (2007) e Petenucci (2008), é na prática social inicial que o professor desafia os alunos a mostrarem seus conhecimentos prévios em relação ao tema que será estudado, possibilitando a incorporação de saberes científicos à realidade social do educando. De acordo com o autor, neste momento o aluno será desafiado, instigado a pensar sobre a realidade, para tal, é preciso muito esforço, vontade de estudar, coragem e compromisso para inovar e aprofundar os conhecimentos. Para tanto, é necessário fornecer condições para aplicabilidade dos conteúdos e atividades inovadoras com o intuito de gerar um ensino aprendido significativo, transformador e crítico.

Após essas breves ponderações, iniciou-se a intervenção, realizando um diagnóstico social inicial prévio do que os alunos sabiam sobre eletrostática. Nesse momento foi entregue a eles um questionário inicial, que segue no apêndice A, com o intuito de coletar informações sobre o que eles conheciam sobre o tema. O questionário foi composto por nove questões abertas e uma questão objetiva, as quais foram respondidas por escrito como forma de identificar os conhecimentos prévios dos participantes da pesquisa sobre o tema. Após coletadas as respostas, foi conduzida uma roda de conversa para confrontar diferentes ideias sobre o tema. Neste momento, a professora pesquisadora realizou alguns apontamentos sobre as questões de modo a suprir algumas dúvidas dos alunos, permitindo a inserção de termos científicos, além da utilização de um pequeno vídeo sobre eletricidade, raios, relâmpagos e trovões que permitiu aos educandos esclarecer algumas dúvidas sobre o que haviam respondido.

Em relação às respostas obtidas do questionário, na primeira pergunta, “Por que as vezes levamos choques ao tocar em objetos de metal?”, de um total de 56 respostas, percebeu-se semelhanças em 09 respostas, ou seja, “*O corpo humano está eletrizado que descarrega a energia acumulada em qualquer objeto de metal.*”, e dois alunos não responderam a essa pergunta. Abaixo estão algumas das variadas respostas obtidas nesta questão.

Quadro 9: Primeira questão – Questionário Inicial

O metal conduz eletricidade. (A42)
O metal frio entra em contato com o corpo quente é gerado uma eletricidade através do choque térmico entre essas duas massas. (A02)
O metal é conectado a redes aonde circula choques fortes que podem matar. (A13)
A carga estática está diferente do objeto que a gente toca. (A04)
O corpo humano está eletrizado que descarrega a energia acumulada em qualquer objeto de metal. (A52)
O metal é condutor de energia e armazenam energia, dependendo da energia que o corpo estiver. Se o corpo estiver molhado ocorre o choque. (A06)
Nosso corpo possui muita energia, por isso as vezes precisamos ficar descalço e pisar na terra para descarregar as energias. (A27)
O metal é um condutor de eletricidade e passa para o nosso corpo que é composto por 80% de água que também é um ótimo condutor elétrico. (A18)
Isso acontece porque a carga estática da pessoa está diferente do que o objeto que ela toca. (A39).
Pois produzimos energia estática. E os elétrons produzidos pelo corpo se chocam com os do metal, causando eletricidade. (A21)
Por causa da reação climática. (A10)
Estamos com acúmulo de cargas elétricas. (A51)
Por causa da eletricidade estática, uma energia que surge do nada. (A26)
O atrito com o ar faz com que a carga elétrica fique na superfície de fora do metal. (A43)

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir da análise das respostas, percebe-se uma variedade significativa de justificativas, misturando os conteúdos terminologia x eletrostática, além da falta do vínculo com o conteúdo científico em sua maioria, explicitando a compreensão limitada sobre o tema. Outro aspecto importante que merece atenção, deriva a forma com que alguns alunos se expressam, de maneira sucinta, rápida, e imprecisa,

resultando em uma resposta vaga, que não auxilia na compreensão clara do fenômeno envolvido.

Esperava-se neste momento, que os alunos fossem capazes utilizar o conceito de carga elétrica em suas respostas, relacionando o movimento das mesmas com a sensação do choque, vastamente conhecida da vivência do estudante. Em um segundo momento, averiguou-se a existência do vínculo entre os conceitos de carga e energia (energia eletrostática), e como os estudantes seriam capazes de relacionar os mesmos, no entanto, percebeu-se a incapacidade, na vasta maioria dos casos, dos estudantes realizarem tais aproximações com o devido rigor.

A segunda questão, de dimensão científica, visava avaliar qual a compreensão que os alunos apresentavam sobre o conceito e a origem da carga elétrica, sendo apresentada da seguinte maneira: O átomo é composto de elétrons, prótons e nêutrons. “A) Qual é a carga positiva, a negativa e a neutra?”; “B) Qual carga faz parte do núcleo do átomo?”; e “C) Qual carga que é removida ou fornecida nos processos envolvendo eletrização?”.

Neste momento foi analisado que a maioria dos alunos não tem conhecimento suficiente sobre o assunto, pois dentre os 56 alunos que participaram dessa etapa, 10 não souberam responder e apenas 7 alunos responderam corretamente, sendo que o restante das respostas foram parcialmente corretas, revelando certa confusão no momento de expressar suas ideias, como se verifica a seguir:

Quadro 10: Segunda questão – Questionário Inicial – A) Qual é a carga positiva, a negativa e a neutra?

Nêutrons = negativa; prótons = positiva; elétrons = nêutron. (A07)
Nêutrons = neutra; prótons = negativa; elétrons = Positiva. (A42)
Prótons = elétrons. (A54)
Prótons = neutra. (A06)
Elétrons = negativa. (A32)
Nêutrons = positiva. (A45)
Positiva é uma massa unitária, negativa quase não possui massa. (A27)

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 11: Segunda questão – Questionário Inicial – B) Qual carga faz parte do núcleo do átomo?

Elétrons. (A22)
Elétrons faz parte do núcleo do átomo. (A05)
Neutra. (A13)
Negativa. (A41)
Prótons. (A15)
Nêutrons. (A35)

Fonte: Autoria própria (2019).

Quadro 12: Segunda questão – Questionário Inicial – C) Qual carga que é removida ou fornecida nos processos envolvendo eletrização?

Prótons. (A18)
Positiva e negativa. (A42)
Positiva. (A11)
Carga elétrica. (A27)
Nêutrons. (A32)
Elétrons. (A09)
Negativa. (A46)

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir dos dados coletados, pode-se identificar a presença de respostas erradas ou parcialmente erradas na maioria dos casos. Este é um dado preocupante, pois ele revela uma lacuna muito grande na formação científica dos estudantes, que poderia ter sido suprida em dois momentos anteriores, na disciplina de Química do primeiro ano do Ensino Médio e na disciplina de Física, da qual os alunos já foram iniciados em um momento anterior. Neste momento, esperava-se obter respostas que ilustrassem a natureza da matéria, formada por átomos, compostos por prótons (carga positiva) e Nêutrons (neutro, carga nula), localizados no núcleo que é muito compacto e massivo, e dos elétrons (negativos) que orbitam o núcleo em uma região chamada de eletrosfera. Como os elétrons ocupam a região periférica dos átomos, são essas partículas elementares que são removidas ou fornecidas no processo de eletrização. No entanto, pelas respostas acima apresentadas, foi verificada a dificuldade extrema da maioria dos estudantes em utilizar corretamente termos da dimensão científica dos conteúdos.

A terceira questão buscava averiguar o entendimento sobre os fenômenos naturais, os raios, relâmpagos e trovões. Nessa questão, 09 alunos não souberam responder e os demais trouxeram respostas parcialmente corretas, que se

aproximavam em alguns pontos do esperado, conforme aponta o quadro 12, que segue abaixo:

Quadro 13: Terceira questão – Questionário Inicial

O relâmpago é percebido primeiro que o trovão. (A11)
O raio é gerado pelo excesso de cargas acumuladas na nuvem. (A13)
A velocidade da luz é bem maior que a velocidade do som. (A10)
O raio contém eletricidade o trovão é o barulho, o relâmpago é a luz. (A37)
Raios nós vê e trovões ouvimos. (A15)
Raio é uma descarga elétrica entre as nuvens e solo, trovão é uma onda sonora. (A26)
Raios caem do céu e os trovões não. (A17)
Raios e trovões são gerados por energia magnética. (A18)
Colisão de nuvens. (A48)

Fonte: Autoria própria (2019).

Por meio das respostas coletadas, identificou-se que o conhecimento científico apresentado pelos alunos se mostrava bastante fragmentado, resultando em respostas ora incompletas, ora imprecisas, ora incorretas. Um dos fatores, que pode ter contribuído para esse resultado, está relacionado ao fato de que os alunos já tinham conhecimento de conteúdos sobre eletricidade, porém de forma apenas introdutória e não muito aprofundada, como já citado anteriormente.

Neste sentido, esperava-se que os estudantes fossem capazes de descrever que os raios ou relâmpagos (sinônimos) são formados por descargas elétricas produzidas entre as nuvens e o solo. Já os trovões definem as ondas sonoras produzidas pelo deslocamento das cargas (relâmpago), sempre se manifestando alguns instantes após a visualização do clarão.

Na sequência, passou-se a analisar a quarta questão, que visava avaliar como os alunos entendiam os processos de eletrização, citando alguma aplicação do cotidiano, conforme segue: “Explique a razão de os pelos se arrepiarem ao tirar a blusa de lã”. Neste caso, 13 alunos não responderam ou “não quiseram opinar” e 07 alunos disseram “não sei” e 19 alunos apresentaram respostas semelhantes, tentando explicar de maneira superficial o processo de eletrização como se pode observar nos trechos abaixo:

Quadro 14: Quarta questão – Questionário Inicial

Porque seu corpo tem energia eletrostática. (A31)
Ao passar a lã na pele ocasiona uma carga de eletricidade, por causa do calor do corpo. (A45)

Fonte: A autoria própria (2019).

E 17 alunos apresentaram algumas respostas diferenciadas, com elementos científicos, porém sem uma resposta íntegra do fenômeno, como exposto abaixo:

Quadro 15: Quarta questão – Questionário Inicial

Eletrizou-se por atrito, as cargas elétricas geradas foram conduzidas pelos fios de pêlos. (A36)
O corpo produziu elétrons que ao tirar se chocaram com os elétrons da blusa, e o corpo reagiu como um ímã. (A23)

Fonte: A autoria própria (2019).

Levando em consideração que os alunos já traziam um conhecimento sobre os processos de eletrização e com o planejamento das aulas, esperou-se uma melhor compreensão dessa questão, em que se percebeu uma ligação e sua aplicação no cotidiano. As demais respostas, conforme se pode notar, apresentam raciocínios fragmentados, superficiais e fora do contexto:

Quadro 16: Quarta questão – Questionário Inicial

O cérebro manda uma mensagem para que os pêlos fiquem eriçados e seu conjunto forma uma espécie de colchão, pela sensação que ela nos traz. (A21).
O corpo ao se esfregar nos fios de lã causa uma pequena carga elétrica que não causa choque. (A18).
A lã é um condutor. (A01).

Fonte: A autoria própria (2019).

Nessa questão, esperava-se que os alunos compreendessem o fenômeno de eletrização, de modo que quando usamos uma blusa de lã, o atrito da lã com nosso próprio corpo provocam o acúmulo de cargas tanto na lã, como em nossa pele, sendo comum, ao retirarmos a blusa, sentirmos os pelos do braço se arrepiando, ou ainda ouvirmos estalos, ou, em alguns casos mais raros, vemos pequenas faíscas, caso tiremos essa roupa no escuro.

Na quinta questão, visou-se avaliar o fenômeno da blindagem eletromagnética, conforme segue: “A estrutura metálica do carro protege o motorista de um raio. Por que isso acontece?”. As respostas obtidas não foram muito diferentes das anteriores, ou seja, 11 alunos “não responderam” deixando os espaços em abertos, 04 disseram “não tenho conhecimento” e os 37 alunos apresentaram respostas parecidas, que correspondeu ao esperado, conforme os trechos a seguir:

Quadro 17: Quinta questão – Questionário Inicial

Quando o raio cair no automóvel, esse raio vai ficar na superfície externa do carro ocorrendo a blindagem elétrica. (A02)
A estrutura de fora do carro puxa os raios para dentro, mais não passa para dentro porque passa para os pneus, que é um isolante elétrico. (A18)
O metal age como para-raios. (A52)
Os raios percorrem o metal e tocam o chão. (A36)
O metal conduz toda eletricidade dele. (A09)

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir das análises, nota-se uma grande variação nas respostas apresentadas pelos alunos, contendo conhecimento de senso comum que, em alguns poucos casos, apresentam termos científicos aplicados de maneira imprecisa e incorreta. Esperou-se argumentos que pudessem envolver condutores e isolantes, conforme segue: os pneus do carro nos protegem dos raios, mas na verdade, a grande energia envolvida que é manifestada pela a alta voltagem (alta tensão) é capaz de fazer com que os pneus, embora isolantes, permitam a passagem das cargas elétricas.

Na verdade, no momento que o raio atinge o carro, as cargas elétricas ficam distribuídas na parte externa da estrutura do carro. Assim, no interior do carro, não ocorre movimentação dessas cargas, prevenindo os ocupantes da descarga elétrica. Nesta situação, é dito que o campo elétrico no interior do carro é nulo.

Passa-se a analisar a sexta questão, que procurava avaliar o que os alunos entendiam por ocorrência de raios, relacionando com fenômenos que ocorrem no cotidiano, como expresso a seguir: “Quais são as condições climáticas favoráveis à ocorrência de raios?”. Do montante de alunos, 10 não responderam, 01 escreveu “não sei” e 27 alunos apresentaram semelhanças nas respostas, como se observa nos trechos abaixo:

Quadro 18: Sexta questão – Questionário Inicial

Chuvas fortes, chuvoso, chuvoso com ventos, tempestades, temporais. (A25)
As nuvens estão bem carregadas. (A08)
Chuvoso e com tempestades. (A06)
Quando tem temporais. (A15)
Tempo nublado ou chuvoso.(A14)
Quando começa a chuva ou tempestade, isso acontece por causa do clima. (A07)

Fonte: Autoria própria (2019).

Obteve-se mais algumas respostas diferenciadas e fragmentadas:

Quadro 19: Sexta questão – Questionário Inicial

Se forma quando uma região da nuvem tem excesso de carga elétrica positiva ou negativa acumulada. (A31)
Quando o clima ta favorável não ocorre raios, só tempos agressivos formam raios. (A02)
Em alguns lugares os raios costumam ser leves e outros muitos pesados. (A23)
Fumaça, calor, altas temperaturas. (A42)

Fonte: Autoria própria (2019).

Esperou-se, nessa questão, que os alunos fossem capazes de apresentar a seguinte argumentação: A incidência de raios está diretamente ligada às descargas elétricas que acontecem devido à colisão de partículas em uma região da atmosfera, normalmente ligadas às nuvens contendo gelo, água ou granizo. Os raios se formam quando em uma região de uma nuvem tem excesso de carga elétrica, positiva ou negativa acumulada, gerando as condições necessárias para que o ar permita a movimentação de cargas entre a nuvem e a Terra. Cabe destacar que o caminho percorrido pelo raio será sempre aquele por onde a condução de elétrons for mais fácil (menos resistivo), normalmente é o caminho mais curto entre a nuvem e a Terra.

A sétima questão visava entender como os estudantes compreendiam os conceitos de condutor e isolante. Neste sentido, foi solicitado aos alunos que citassem exemplos de materiais condutores e isolantes. Nessa questão, 09 alunos “não responderam”, deixando os espaços em abertos e 20 alunos responderam de maneira razoável, demonstrando a existência da dimensão conceitual, verificando a presença de apenas pequenos detalhes para ser corrigido, o que estava dentro do

esperado:

Quadro 20: Sétima questão – Questionário Inicial

Condutores: metal, ferro, madeira seca, ouro, prata, aço. (A03)
Metais. (A39)
Fios descascados. (A08)
Homem. (A12)
Isolantes: madeira seca, vidro, plástico, cerâmica, papel alumínio, papel. (A27)
Porcelana, fita isolante, luva de borracha. (A45)
Borracha, cerâmica, plástico, ar. (A21)

Fonte: Autoria própria (2019).

Os demais, que são 32 alunos, responderam de forma fragmentada, imprecisa e demasiadamente sucinta, apresentando apenas parte da resposta esperada, como segue abaixo:

Quadro 21: Sétima questão – Questionário Inicial

Os isolantes são tão importantes quantos os condutores, isolante não deixa passar. (A36)
O que isola e o que não isola. (A03)
Condutor é o fio descascado que pode acabar dando choque e leva a pegar fogo em alguns dos casos. (A07)
Condutor água salgada e isolante o isopor. (A31)
Isolantes são: plástico e madeira, condutor água. (A21)

Fonte: Autoria própria (2019).

Por meio das respostas apresentadas no quadro acima, observa-se que muitos alunos apresentam dificuldades em classificar diferentes tipos de materiais, apresentando um conhecimento demasiadamente superficial, utilizando argumentos e exemplos que fazem parte do cotidiano, o que justifica a necessidade de trabalhar melhor este tema.

Passando a analisar a oitava questão, que tinha por objetivo observar o que os alunos entendiam por processos de eletrização, relacionados com a força elétrica (Lei de Coulomb), dentro do contexto da aplicação do conhecimento. A questão foi apresentada da seguinte maneira: “Explique por que quando se vai fazer uma pintura eletrostática, ou seja, a base de pó epóxi é necessária que as partículas de

tinta sejam ionizadas para a realização de um bom trabalho?”. Diferente das outras questões, nessa foi verificado um aumento de alunos que não souberam opinar sobre o assunto, em que 35 alunos não responderam, deixando os espaços totalmente em branco ou “não quiseram opinar”; 02 disseram: “não tenho conhecimento sobre isso” e 01 “não sei”; 09 alunos apresentaram semelhanças nas suas respostas, que se aproximou do esperado, como se verifica nos trechos abaixo:

Quadro 22: Oitava questão – Questionário Inicial

Se não estiver ionizadas vai falhar a pintura e não terá um bom trabalho, não vai ter aderência, as partículas não vão ficar coladas na parede com mais eficiência. (A51).
Elas não grudam ou não ficam paradas no lugar. (A27)
Se elas não forem unidas não se fixa. (A11)
Precisa se dissolver para realizar a pintura. (A32)
Para ficar um material mais consistente. (A17)

Fonte: Autoria própria (2019).

Outras 14 respostas apresentaram uma argumentação mais fragmentada, demasiadamente sucinta, que poderiam ser melhor explicadas.

Quadro 23: Oitava questão – Questionário Inicial

Para que haja uma melhor aderência entre as partículas prótons (positivo) e elétrons (negativo). (A11)
Para dar maior aderência a pintura, para mostrar que a pintura é diferente da pintura da parede. (A05)
Para que haja uma boa condução de eletricidade, um bom condutor na madeira é água salgada. (A31)

Fonte: Autoria própria (2019).

Neste contexto, idealmente esperava-se a seguinte resposta: Quando uma peça é pintada, a tinta em pó recebe uma carga elétrica oposta à peça, fazendo com que a tinta se fixe na peça. Um ótimo exemplo da boa aderência da pintura eletrostática a pó são as molas de suspensão de carros: mesmo flexionadas, a tinta permanece intacta. Outros exemplos da aplicação de pintura eletrostática a pó, são os produtos da linha branca de dentro de casa, como microondas, geladeiras, máquinas de lavar roupa, pois necessitam além da proteção, um bom acabamento e durabilidade. Nesta questão, observou-se bastante dificuldade para ser respondida

pelos alunos, ficando notório que as aplicações envolvendo o conteúdo necessitam ser mais exploradas em sala de aula.

Quanto a nona questão, a análise foi a seguinte: “Um para-raios consiste em uma haste metálica, ligada à terra por um fio grosso metálico. Por que o para-raios deve ser posicionado em um local mais elevado possível?”. Nesta pergunta, 22 alunos deixaram totalmente em branco, 08 disseram “não sei” e também ocorreram respostas imprecisas, como as apresentadas abaixo:

Quadro 24: Nona questão– Questionário Inicial

O raio vai atingir um ponto perto das nuvens. (A47)
Para captar os raios. (A01)
Para o raio não atingir pessoas ou causar um acidente grave. (A23)
Pois há mais chance do raio colidir no para-raios. (A22)
Para que o raio seja puxado mais facilmente sem atingir outras estruturas. (A26)
Para que ele seja puxado antes mesmo de tocar o chão. (A18)

Fonte: Autoria própria (2019).

Observa-se que as respostas dos alunos estão coerentes, porém justificadas de acordo com o senso comum, faltando a dimensão científica, revelando, dessa forma, um entendimento inicial sobre a questão.

Neste sentido, almejava-se a seguinte resposta: O para-raios é conectado a fios de cobre ou alumínio de pequena resistividade que são aterrados no solo, tendo a função de proteger-nos da estrutura de construções, como edifícios, casas e outros dos danos causados pelos raios (descargas elétricas atmosféricas). Costuma-se posicionar os para-raios em lugares elevados, como por exemplo, no alto dos edifícios, porque o caminho percorrido pelo raio será sempre aquele por onde a condução de elétrons for mais fácil (menos resistivo), normalmente o caminho mais curto entre a nuvem e a Terra.

Por final, a décima questão, que visava averiguar a dimensão histórica sobre o assunto, foi enunciada da seguinte maneira: Relacione a primeira coluna de acordo com a segunda coluna:

- 1) Suas contribuições à ciência vão desde as criações: do motor elétrico, do transformador, do transformador, do gerador elétrico e do dínamo até as leis da eletrólise e o efeito Faraday, foi um dos maiores cientistas experimentais de todos os tempos.
- 2) Dos estudos da gravitação e do movimento dos corpos, fez descobertas sobre a composição da luz e estudos em química, geometria, teologia, alquimia e filosofia.
- 3) Inventor do termômetro por dilatação do mercúrio e da Fahrenheit.
- 4) Comprovou a existência de dois tipos de força elétrica: uma de atração e a outra de repulsão.
- 5) Atribuem-se a ele a invenção do para-raios e a introdução dos termos positiva e negativa para referir-se às cargas elétricas.

- Daniel Gabriel Fahrenheit.
- Isaac Newton.
- Benjamin Franklin
- Charles Augustin Coulomb.
- Michael Faraday.

As respostas dos alunos foram as seguintes: 14 alunos não responderam, deixaram o espaçamento totalmente em branco; 25 alunos responderam incorretamente e apenas 22 alunos responderam corretamente.

Nesta questão, esperou-se que os alunos fizessem a associação com o nome do cientista de forma correta, facilitando assim as respostas, mesmo assim foram observadas muitas respostas em branco e também um grande número de respostas incorretas o que demonstra o baixo conhecimento da dimensão histórica associada os conceitos científicos e também a falta de atenção dos alunos quanto à leitura e interpretação das atividades propostas. A resposta para a questão, apresenta-se corretamente nessa sequência:

Quadro 25: Décima questão – Questionário Inicial

(3) Daniel Gabriel Fahrenheit.
(2) Isaac Newton.
(5) Benjamin Franklin.
(4) Charles Augustin Coulomb.
(1) Michael Faraday.

Fonte: Autoria própria (2019).

A partir de uma análise mais geral dos dados, a maioria dos alunos tentou justificar suas respostas, utilizando conceitos e conhecimentos do senso comum com expressões de sua vivência e experiência diária, que não traduzem precisamente a relação entre eletricidade e os processos de eletrização. Por meio destas questões, esperava-se que os alunos pudessem argumentar de maneira mais efetiva, trazendo termos da dimensão científica, ora ensinados em contextos anteriores a este. Porém, com a análise do questionário, apesar de os alunos trazerem experiências vivenciadas no seu contexto social e sendo fora do contexto escolar, a relação com os conhecimentos científicos se apresenta deficitária e fragmentada, como pôde ser constatado, especialmente nos tópicos da eletricidade e sua origem, processos de eletrização, força elétrica e campo elétrico.

A partir da análise das respostas do questionário inicial, iniciou-se o desenvolvimento do produto educacional, a problematização, tomando o devido cuidado de corrigir as distorções da compreensão dos fenômenos Físicos apresentadas pelos alunos. A interação entre a teoria com a prática, é um importante passo para uma compreensão mais ampla e sintética dos conteúdos, que foi realizada por meio do desenvolvimento do produto educacional – plano de unidade (Apêndice A) que visou enriquecer o momento do ensino-aprendizagem, além de possibilitar a compreensão sobre o assunto. A problematização, em suas diferentes dimensões, fez parte desse processo. Como afirma Gasparin e Petenucci (2012):

A problematização consiste na explicação dos principais problemas postos pela prática social, relacionados ao conteúdo que será tratado. Este passo desenvolve-se na realização de: a) uma breve discussão sobre esses problemas em sua relação com o conteúdo científico do programa, buscando as razões pelas quais o conteúdo escolar deve ou precisa ser aprendido em seguida, transforma-se esse conhecimento em questões, em perguntas problematizadoras levando em conta as dimensões científica, conceitual, cultural, histórica, social, política, ética, econômica, religiosa etc, conforme os aspectos sobre os quais se deseja abordar o tema, considerando-o sob múltiplos olhares. Essas dimensões do conteúdo são trabalhadas no próximo passo, o da instrumentalização. (GASPARIN; PETENUCCI, 2012, p.9-10).

Assim se entende que a problematização representa o questionamento, a análise, levando em consideração o conteúdo trabalhado e a sua relação com a prática social. De acordo com Saviani (2009, p. 64) “é necessário dominar para resolver as questões da prática social”. Conhecer a realidade (prática) e a partir dela selecionar, discutir questões e as relacionar, ou seja, fazer analogias individuais e

coletivas, desafiando os alunos em relação ao conteúdo, mostrando a devida importância que o conteúdo traz. Em síntese, selecionar e discutir os problemas que se originam na prática social.

No Plano de Unidade (Apêndice A), procurou-se planejar e elaborar algumas atividades/questões problematizadoras sobre o tema, possibilitando explorar diferentes dimensões como: conceitual, científica, histórica, econômica e social. Nesse sentido, buscou-se discutir e abordar todas as dúvidas que os alunos vinham a apresentar sobre o tema ao longo do processo de intervenção do produto educacional.

4.2 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: A CARGA ELÉTRICA.

Após o levantamento prévio dos conhecimentos que os alunos traziam consigo sobre eletricidade, processos de eletrização, condutor e isolante, por meio do questionário inicial e da discussão dialética em sala de aula, deu-se início a problematização e instrumentalização do conteúdo a partir de atividades teórico-práticas descritas no Plano de Unidade. Ressalta-se que as atividades foram desenvolvidas em um laboratório de Física e também em sala de aula, onde os alunos registraram suas conclusões, como também suas dúvidas a respeito dos conteúdos ministrados pelo professor pesquisador. Neste sentido, as DCEs do Paraná destacam que “É importante que o processo pedagógico, na disciplina de Física, parta do conhecimento prévio dos estudantes, no qual se incluem as concepções alternativas ou concepções espontâneas” (PARANÁ, 2009, p.60).

Esse é o momento, a partir do senso comum, de utilizar o conteúdo científico, a fim de corrigir certos equívocos e fenômenos mal compreendidos, por meio de indagações, debates, reflexões, desafio apresentado tanto para os alunos quanto para os professores. Portanto, torna-se necessário considerar a forma de comunicação e reconstrução do conhecimento na transformação da ação da sociedade.

Assim, Gasparin (2007) traz um novo conceito para a problematização, no qual o autor a coloca como alicerce na transformação entre a prática e a teoria. Nessa linha de análise, pode-se assim dizer que a problematização provoca uma mudança nos conhecimentos prévios do aluno que, uma vez desafiado e motivado, tentará encontrar soluções para as questões levantadas. A partir dessa etapa, pouco a pouco, a aprendizagem assume um significado, uma importância individual para o aluno,

embora a necessidade de conhecimento seja social.

Da mesma forma, na instrumentalização o sujeito é convidado a confrontar os objetos da aprendizagem. Nesse momento, deve ocorrer uma apresentação sistemática do conteúdo por parte do professor e por meio da ação dos alunos de se aproximarem e debaterem esse conhecimento. Diante disso, a instrumentalização trata de caminhos a serem explorados, a fim de promover a aprendizagem.

Nessa mesma linha de análise, conforme afirma Gasparin (2007), os estudantes e o objeto da sua aprendizagem são colocados lado a lado pela mediação do professor. Sendo assim, é de suma importância o trabalho do professor, com ações previstas e recursos selecionados, nos processos mentais dos alunos para que se apropriem dos conteúdos científicos em suas diversas dimensões, em busca de alcançar os objetivos propostos. É essencial a ação do professor em diagnosticar os conhecimentos prévios dos alunos.

De posse desses conhecimentos e dando continuidade à intervenção, a segunda aula iniciou com uma revisão de eletricidade e sua origem, história, modelo atômico e propriedades, na sequência introduziram os conteúdos, explicando a origem dos estudos sobre carga elétrica; relacionando o modelo atômico com propriedades elétricas; identificando algumas propriedades das cargas elétricas (positivas e negativas); conhecendo e adquirindo o saber sobre a diferença entre um objeto eletricamente neutro, negativamente ou positivamente carregado e o que é falta ou excesso de cargas; esclarecendo como a carga é medida no SI, destacando o conteúdo através de textos relacionados ao tema, trabalhando com imagens, visando esclarecer as dúvidas dos alunos. Além disso, utilizou-se alguns recursos didáticos como: experimentação, material impresso, data Show e TV multimídia e quadro de giz.

Referente ao conteúdo, abrangendo as dimensões histórica, científica e social, foi possível responder algumas questões como: conhecimentos físicos em eletricidade; as medidas de prevenção de acidentes com eletricidade; “Como proceder em dias de tempestade, fundamentado nos conceitos de modelos atômicos, nas teorias e aplicações da eletricidade?”; “Qual a importância das usinas geradoras de eletricidade?”; “Por que são necessárias as campanhas de prevenção de acidentes envolvendo as redes elétricas?”; “Qual a utilidade do pára raios?”; “Por que os fios não podem estar desencapados?”.

O Segundo encontro aconteceu em duas aulas geminadas, partindo de

conceitos que já abordados. Iniciou-se os conteúdos sobre condutores e isolantes, processos de eletrização, diferenciação entre isolantes, condutores, semicondutores e supercondutores elétricos, com apresentação da série triboelétrica, de forma que o aluno pudesse compreender e identificar em diversas situações do cotidiano. Houve a comparação e diferenciação dos processos de eletrização por atrito, contato e indução; associação dos processos de eletrização à ocorrência de raios, relâmpagos e trovões; os alunos foram conduzidos a saber o que significa “isolar eletricamente” e “aterrar” um objeto; além de compreenderem a importância do para-raios, abordando e resgatando conceitos do cotidiano com texto e imagens ilustrativas. Após todas as abordagens, desenvolveu-se juntamente com os alunos os experimentos: atividade 1: classificação elétrica dos materiais; atividade 2: atração de materiais isolantes neutros; atividade 3: a força elétrica: atração e repulsão; atividade 4: o cabo de guerra eletrostático e na sequência a atividade 5: o eletroscópio.

Na Figura 20, observa-se detalhes sobre a realização da atividade 2, em que a régua acrílica que após ser atritada com papel toalha ou papel higiênico, ficou carregada eletricamente, gerando neste processo o campo elétrico em seu entorno. A ideia, por trás desse experimento, é visualizar a força de origem elétrica que surge mesmo entre um corpo carregado e outro neutro, em função da indução (em metais) ou da polarização (nos isolantes).

Neste experimento, a régua eletrizada foi capaz de polarizar um pedaço de papel, ocasionando uma pequena separação espacial na distribuição de cargas dele, resultando no final em uma atração entre o papel e a régua.

Figura 20: A força elétrica: atração e repulsão



Fonte: Autoria própria (2019).

Como afirma Zabala (1998) e Azevedo (2004), as práticas experimentais promovem a motivação, a capacidade de observação, o domínio de técnicas usadas em laboratórios, a união entre professores e alunos, e acima de tudo, possibilitam ao aluno o desenvolvimento de atitudes autônomas e cooperativas, buscando a construção do conhecimento científico. Para tanto, entende-se que a experimentação se faz necessária, para que o aluno tenha condição de realizar conexões entre o que sabe e o que irá aprender. Da mesma forma, a experimentação, a partir do referencial teórico norteador desse estudo, possibilita aos alunos realizarem a efetiva articulação entre a teoria e a prática numa perspectiva problematizadora.

Com isso, por meio da exposição oral dialogada do professor, o aluno pode compreender o experimento e compreender os processos de eletrização e também a classificação de materiais condutores ou isolantes, permitindo dessa forma avaliar os conceitos até então aplicados.

Nesse encontro foi utilizado o laboratório de Física para o desenvolvimento do experimento, no qual se teve como recursos de apoio a TV multimídia, bancada de apoio ao experimento, além do quadro de giz.

4.3 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: A LEI DE COULOMB.

O encontro seguinte aconteceu na quinta e sexta aula, também com duas aulas geminadas. Foi iniciado com atividades e exemplos para apresentar e tentar compreender o significado de caracterizar a força elétrica em módulo, direção e sentido; relacionando à carga das partículas com a distância entre elas; compreender a lei de atração e repulsão de cargas elétricas; aplicar o princípio da superposição para determinar a força gerada por uma distribuição qualquer de cargas; comparar a força elétrica com a força gravitacional, identificando semelhanças e diferenças; entender que a Lei de Coulomb se aplica a partículas pontuais e a objetos que podem ser tratados como partículas pontuais. Nesse momento foram retomadas as ideias da atividade Cabo de Guerra. Nela os alunos puderam perceber a dependência das variáveis associadas à Lei de Coulomb. Momento para explicar as propriedades das cargas elétricas (cargas de sinais contrários se atraem).

Em seguida, após todas as explicações do conteúdo de cunho conceitual e

científico, foram realizadas atividades envolvendo o cálculo da Lei de Coulomb. Nesta mesma atividade também foi discutida a relação entre a Lei de Coulomb e a força gravitacional. Para contextualizar a Lei de Coulomb com a prática social inicial dos estudantes, foram realizadas atividades dialogadas utilizando as questões descritas a seguir: “Por que os pelos são atraídos pelas telas de TV ou computadores antigos? E por que isso não acontece nas telas de LCD?”; “Por que é comum levar choque em ambientes com ar-condicionado?”; “Por que as crianças ao brincar em escorregadores plásticos costumam levar choques?”. Para isso foi usado os recursos: livros, materiais impressos e quadro de giz.

Concorda-se, portanto, com (Hofstein; Lunetta, 2004) apud Pereira, M. V. e Moreira, M. C. do A., quando afirmam que a prática cotidiana poderia ser explorada através da experimentação e

que tais atividades podem facilitar a compreensão de conceitos físicos, além de encorajar a aprendizagem ativa, motivar, despertar o interesse, desenvolver o raciocínio lógico, a comunicação, estimular a capacidade de iniciativa e de trabalho em grupo. (Hofstein; Lunetta, 2004, p. 393)

Analisando todas essas argumentações, percebe-se que a experimentação atua como uma metodologia facilitadora para que o aluno tenha um melhor entendimento do conteúdo sob diferentes dimensões, realçando algumas importantes atitudes, tais como criatividade e socialização no trabalho conjunto. Segundo Silveira (2004), fica evidente que o desenvolvimento da observação e da criatividade, articulada às atividades experimentais envolvendo o educando contribuem para o seu aprendizado de modo a avançar no domínio da conceituação desses fenômenos.

Seguindo essa linha de análise, também foi realizada uma discussão entre professor e aluno, esclarecendo algumas dúvidas que surgiram, conforme segue: “Para sentir os efeitos de corpos eletrizados é necessário encostar-se a eles? Por quê?”; “As forças de atração e repulsão elétrica entre dois ou mais corpos dependem do material de que eles são feitos?”; “Dependem da quantidade de carga dos corpos?”; “E da distância entre eles?”.

Na Figura 21, há detalhes acerca da atividade 4, denominada de cabo de guerra. Nesta atividade, o aluno faz o movimento de atrito do balão de borracha com os cabelos, eletrizando o balão no processo, fazendo com que fios de cabelo sejam atraídos pelo balão. Na sequência uma lata de alumínio (neutra) é atraída por dois

balões, sendo que o balão campeão será aquele que puxar a lata mais intensamente. Por meio desse experimento foi possível verificar que quanto mais cargas foram depositadas no balão, mais atração o balão causa sobre a lata. Quanto mais próximo o balão for colocado da lata, mais força causa sobre ela. Dessa forma, foram exploradas de maneira qualitativa a dependência da carga e da distância que aparecem na Lei de Coulomb.

Figura 21: O cabo de guerra eletrostático



Fonte: Autoria própria (2019).

A atividade 5, o eletroscópio segue com detalhes apresentados na figura 22. Neste experimento, o balão de borracha foi atritado no cabelo o que possibilitou a transferência de elétrons para o mesmo, em seguida o balão foi aproximado (sem contato) de uma bolinha feita de papel alumínio conectada a um fio de cobre e às tiras de folhas metálicas, momento em que os alunos puderam observar na prática o fenômeno de transferência de elétrons da força de repulsão nas tiras que se distanciaram

Figura 22: Eletroscópio



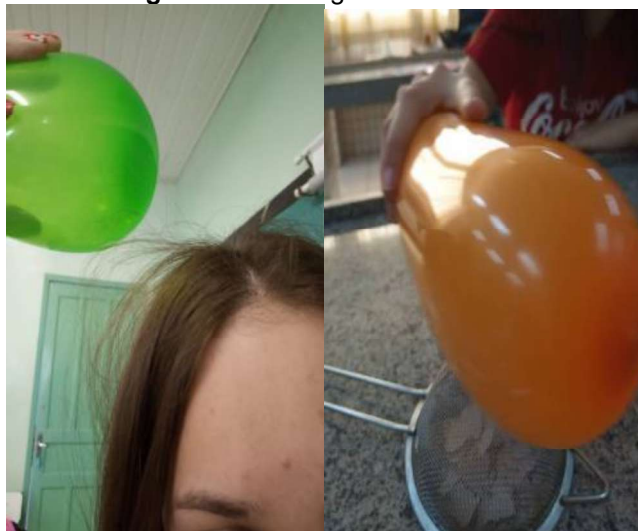
Fonte: Autoria própria (2019).

4.4 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: O CAMPO ELÉTRICO.

O encontro seguinte aconteceu na sétima e oitava aula, também com duas aulas geminadas. Inicialmente foram retomados os conceitos aplicados nos encontros anteriores, para então utilizar a representação do campo elétrico por meio das linhas de campo geradas por cargas positivas e negativas. Neste sentido, foram encaminhados alguns cálculos do campo elétrico (grandeza vetorial) gerado por uma carga puntiforme e por outras distribuições de carga pontuais, o campo elétrico na superfície e no interior de um condutor, enfatizando o efeito de blindagem eletrostática, bem como as propriedades do campo elétrico uniforme.

Com o intuito de discutir os efeitos da blindagem elétrica, realizou-se a atividade que segue ilustrada na Figura 23. Nela foram colocados papéis picados embaixo de uma peneira de metal e de uma peneira de plástico, pediu-se aos alunos que fizessem o atrito de uma bexiga no cabelo e as aproximassem das peneiras, observando o que ocorreria. Os alunos constataram que, na peneira de plástico os papéis foram atraídos em direção ao balão de borracha, verificando os efeitos da Lei de Coulomb e da polarização dos pedacinhos de papel. Verificaram também que quando a peneira de plástico foi substituída por outra de metal nada aconteceu, pois, conforme Faraday comprovou em 1836, no interior do condutor o campo elétrico torna-se nulo e as cargas tendem a se distribuírem sobre a superfície metálica, até atingir o equilíbrio eletrostático.

Figura 23: Blindagem Eletrostática



Fonte: Autoria própria (2019).

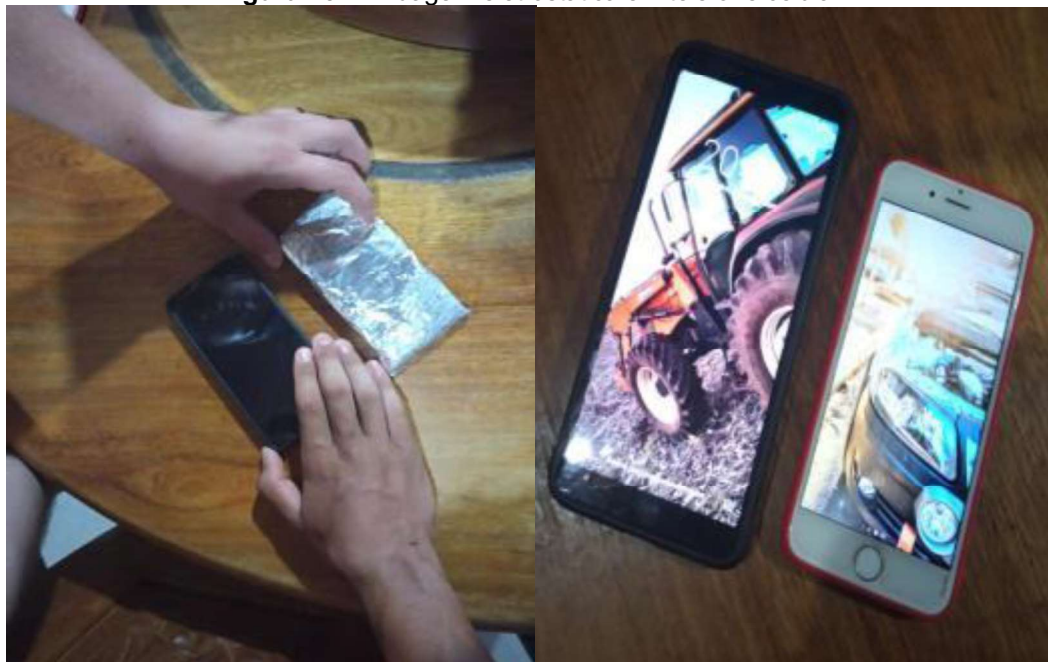
Figura 24: Gaiola de Faraday: blindagem eletrostática



Fonte: Autoria própria (2019).

Durante este encontro, foi realizado também o experimento de blindagem eletrostática de celulares com o uso de papel alumínio, pelo qual os alunos puderam verificar na prática que o metal bloqueia o campo elétrico variável gerando um campo magnético variável e vice-versa.

Figura 25: Blindagem eletrostática em telefone celular



Fonte: Autoria própria (2019).

Ainda neste encontro, foram conduzidas atividades envolvendo o simulador *Schanpsidee* utilizado na determinação da força elétrica e do campo elétrico gerado por distribuições contínuas de cargas, utilizando o laboratório de informática. Conforme imagem abaixo:

Figura 26: Alunos usando o simulador no laboratório de informática



Fonte: Autoria própria (2019).

Nesta atividade, com o uso de ferramentas alternativas, os alunos se envolveram e demonstraram interessados, ocorreu à interação do professor com os alunos e também entre os alunos, em que os mesmos colaboram entre si e ajudaram aqueles que apresentaram resistência em usar tecnologias. Com o uso do simulador, reagiam com empolgação quando conseguiram observar que os resultados obtidos eram os previstos.

4.5 PROBLEMATIZANDO A PRÁTICA SOCIAL E INSTRUMENTALIZANDO OS ESTUDANTES COM OS CONTEÚDOS: A LEI DE GAUSS.

Na nona e décima aulas foram trabalhados os conceitos de o fluxo elétrico e Lei de Gauss, possibilitando relacionar o fluxo elétrico com a carga contida no interior de uma superfície fechada. Nessas aulas foram retomadas as ideias de blindagem eletrostática, evidenciando que dentro do condutor o fluxo elétrico é nulo e por isso é verificada a ausência de força quando uma partícula carregada é colocada nessa região.

Concordando com as DCEs, verificou-se que as atividades experimentais conduzidas na 6^a, 7^a e 8^a aulas foram capazes de despertar grande interesse e

motivação nos estudantes, conforme descrevem os relatos descritos a seguir:

Quadro 26: Relatos sobre atividades experimentais

Jamais poderia imaginar que quando algum professor nos trazem no laboratório de informática e muitas vezes ficamos imaginando que ao tirar a blusa de lã e os cabelos arrepiar e mesmo os estralos que escutamos estão ligados aos conceitos de processos de eletrização, força elétrica, campo elétrico, ou seja, lei de Coulomb e lei de Gauss. As aulas de Física deveriam ser direcionadas com essas situações do dia a dia, entenderíamos melhor as aulas. (A16)

Pude perceber que quando o professor explicou sobre a estrutura metálica do carro protege o motorista de um raio entendi o efeito de blindagem eletrostática, pois, sempre soube que eram os pneus que protegiam por serem isolantes térmicos. (A08)

Fonte: Autoria própria (2019).

Pela análise dos comentários apresentados, foi possível observar que, embora apresentassem elementos imprecisos, demonstram claramente a motivação e o engajamento entre os alunos. Ao encontro desses comentários, as DCEs de Física (2008) explicitam que:

[...] Mesmo as dificuldades e os erros decorrentes de experiências de laboratório devem contribuir para uma reflexão dos estudantes em torno do estudo da ciência. (DCEs de Física, 2008, p. 71).

Os conteúdos aqui tratados, embora extensos, ainda podem ser mais aprofundados, porém, dentro das atuais condições de ensino impostas pelo sistema, é necessário que os alunos sejam estimulados e motivados para que gostem do que estão estudando, resultando dessa forma em melhorias do processo de ensino-aprendizagem. Sendo assim, o professor não pode ser apenas um transmissor de conhecimentos, precisa também criar mecanismos que estimulem o educando, de modo a problematizar o conteúdo a partir da prática social, tendo em vista sua compreensão e transformação.

Durante o período da intervenção foram utilizados instrumentos de avaliação, como o questionário inicial, listas de exercícios, relatórios, montagem e execução das atividades experimentais, gravações de áudios, filmagens de vídeo e simulador que nos permitissem analisar a evolução na compreensão dos conteúdos pelos estudantes, em suas diferentes dimensões.

Finalizando, apresentar-se-á na sequência a análise da catarse por meio do questionário final, tendo em vista, compreender e averiguar o que e como os alunos se apropriaram dos conhecimentos trabalhados, e, num retorno à prática social (final), analisar de que maneira esses conhecimentos poderiam ser utilizados como instrumentos de compreensão crítica da realidade e de transformação social.

4.6 RETORNANDO À PRÁTICA SOCIAL FINAL.

Nesse último encontro: a décima primeira e décima segunda aula, inicialmente foram retomadas os conceitos aplicados nos encontros anteriores, para então utilizar o questionário final com os estudantes, de modo a realizar uma avaliação para diagnosticar e a superar possíveis dúvidas sobre o tema.

Cabe ressaltar, que durante a intervenção do produto educacional, para que ocorresse o desenvolvimento das etapas, as atividades foram divididas em tópicos que foram analisados e discutidos nas etapas anteriores, nas quais se pode verificar em diversas situações que alguns alunos atingiram a catarse, momento que se apropriaram do conhecimento e sendo capazes de melhorar a argumentação e compreensão sobre o assunto.

Segundo Gasparin (2002), estamos constantemente convivendo com a catarse na aprendizagem, este é o momento em que o professor pode solicitar uma síntese dos conteúdos trabalhados, os processos e sua construção, ainda que de maneira provisória, chega-se ao momento em que o aluno é solicitado a mostrar o quanto e o como atingiu os objetivos traçados no início do trabalho. Trata-se de saber sintetizar o cotidiano, o científico, o teórico e o prático. De acordo com Gasparin e Petenucci (2012), a catarse se realiza:

a) por meio da nova síntese mental a que o educando chegou; manifesta-se através da nova postura mental unindo o cotidiano ao científico em uma nova totalidade concreta no pensamento. Neste momento o educando faz um resumo de tudo o que aprendeu, segundo as dimensões do conteúdo estudadas. É a elaboração mental do novo conceito do conteúdo; b) esta síntese se expressa através de uma avaliação oral ou escrita, formal ou informal, na qual o educando traduz tudo o que aprendeu até aquele momento, levando em consideração as dimensões sob as quais o conteúdo foi tratado (GASPARIN; PETENUCCI, 2012, p. 10).

Em consonância com os autores e analisando todo o processo de

aprendizagem durante a intervenção por meio do produto educacional elaborado, foi retomado o questionário inicial para que se pudesse avaliar as atividades propostas durante todo o percurso, com o intuito de analisar a apropriação dos conceitos científicos trabalhados durante os encontros e constatar a existência de possíveis lacunas que ainda mereciam atenção. Além disso, esse foi o momento de identificar a Prática Social Final. Aqui o educando coloca em prática o que realmente compreendeu, apresentando mudanças com relação ao conteúdo, Gasparin (2009).

Nessa esteira de pensamento, Gasparin e Petenucci (2012) argumentam que tanto o ponto de partida quanto o de chegada se referem à prática social. Contudo, o ponto de chegada é diferente da partida, pois consiste no educando assumir uma nova proposta de ação a partir do que foi aprendido.

Conforme citado por Gasparin e Petenucci (2012), este passo se manifesta pelo aluno:

- a) pela nova postura prática, pelas novas atitudes, novas disposições que se expressam nas intenções de como o aluno levará à prática, fora da sala de aula, os novos conhecimentos científicos;
- b) pelo compromisso e pelas ações que o educando se dispõe a executar em seu cotidiano pondo em efetivo exercício social o novo conteúdo científico adquirido.

Esse diagnóstico final, atrelados a vários diagnósticos realizados durante a intervenção do produto educacional, serviu como base não só para avaliar a aprendizagem dos alunos, mas também para aprofundar seus conhecimentos teóricos e também criarem condições necessárias à nova prática docente do professor-pesquisador, como planejar e aplicar conteúdos e atividades almejando um ensino significativo, crítico e transformador. Quando o questionário foi recolhido, proporcionou-se novamente um momento de discussões, no qual foram sanadas algumas dúvidas que ainda permaneciam entre os estudantes. Em relação à primeira questão, assim como no início da intervenção, percebeu-se não ter muitas dificuldades nas respostas por parte dos alunos. Na questão 1: “Por que as vezes levamos choques ao tocar em objetos de metal?”, observou-se respostas justificadas com certo rigor científico, e 04 alunos deixaram em branco. Analisando as expressões que seguem, verifica-se:

Quadro 27: Primeira questão – Questionário Final

Por conta da nossa eletricidade estática, a carga de uma pessoa está diferente de outra, ou seja, o que ele toca está mais carregado. (A60)
Porque ele está muito eletrizado (cinética). (A33)
Porque recebemos uma descarga elétrica.(A28)
Por que os metais são condutores e por consequência podem estar eletrizados. (A53)
Porque existe eletricidade no metal. (A26)
Porque ele conduz energia. (A30)
Por causa da concentração de energia. (A61)
Porque o metal atrai eletricidade e também é um condutor de energia.(A21)
Pois metais são condutores de eletricidade e quando tocamos objetos de metais, havendo uma transferência de carga. (A08)
Porque estamos com o corpo eletrizado e passa uma corrente elétrica pelo nosso corpo. (A55)

Fonte: Autoria própria (2019).

Aqui se percebe que os alunos tiveram avanço na aprendizagem dos conteúdos propostos, mesmo com a intervenção ocorrendo em um espaço de tempo curto. Constatou-se também que a forma direta e muito sucinta que as respostas foram apresentadas não dependem apenas do trabalho realizado pelo professor da disciplina, mas também da equipe de professores que atuam diretamente com o aluno, possibilitando melhorias na sua argumentação e verbalização das suas ideias.

Na segunda questão, sobre o átomo e a carga elétrica, é notório um avanço significativo na compreensão dos alunos sobre o tema, haja vista que esta mesma questão, no início da intervenção, causou certa confusão em relação ao conteúdo, em função do mesmo ser bastante abstrato. No entanto, neste momento, 33 alunos responderam corretamente toda a questão, 01 aluno errou totalmente e 03 deixaram em branco, dos 24 alunos restantes segue abaixo:

Quadro 28: Segunda questão – Questionário Final

prótons são cargas positivas. (A16)
elétrons são cargas negativas. (A04)
nêutrons são cargas neutras. (A38)
as cargas que fazem parte do átomo. (A27)

os elétrons são as cargas que são removidas ou fornecidas nos processos envolvendo eletrização. (A43)

Fonte: Autoria própria (2019).

Constatou-se o progresso apresentado pelos alunos em relação ao questionário inicial e como se pode observar, os alunos responderam com certa coerência, apesar de haver uma necessidade de reforçar os conteúdos conceituais e científicos, pois as noções de ciências básicas do ensino fundamental ainda estão fortemente associados pelos alunos.

A terceira questão buscava avaliar o entendimento dos alunos sobre: a) Qual a diferença entre raios e trovões? b) Qual é percebido primeiro: o relâmpago ou o trovão? c) Porque são gerados os raios e trovões? Justifique as respostas.

Fazendo um parâmetro do momento inicial dessa questão com o final, teve-se duas respostas erradas, em que citaram que o trovão é percebido primeiro que os relâmpagos, quatro não responderam e os demais 55 alunos apresentaram respostas de senso comum, como pode ser observado nos excertos:

Quadro 29: Terceira questão – Questionário Final

O raio é uma descarga elétrica produzida entre as nuvens e o solo. Trovões são ondas sonoras. (A10).
Em nuvens carregadas há atritos de cargas que quando ocorre libera energia, que se manifesta como raios. Por estes serem mais rápidos que a velocidade do som, quebra a barreira do som, escutamos um estrondo, o trovão. (A46)
Os raios se formam quando uma nuvem acumula excesso de cargas negativas. (A35)
Raios são formados por luzes e trovões pelo som. (A16)
Nuvens com diferentes cargas elétricas se chocam gerando um atrito e descarregando a energia no solo. (43)
Por causa da mudança de clima. (A41)
Raios são descargas elétricas geradas pelo atrito de massas de ar nas nuvens. Trovões resultam da expansão de massas de ar aquecidos pelos raios. (A24)
Porque rola uma troca de cargas entre a superfície e a nuvem, a espetacular faísca é fruto do aquecimento do ar. (A40)

Fonte: Autoria própria (2019).

Verificou-se novamente que os alunos fizeram confusão com as respostas,

confundindo raios, relâmpagos e trovões. Diante do que foi trabalhado, relacionando o aprendizado da ciência do cotidiano com o conteúdo científico, almejava-se respostas mais satisfatórias. Assim, diante de um grande número de alunos que responderam com confusão, sem muita coerência, discutiu-se novamente o conteúdo com o objetivo de que as dúvidas ainda existentes fossem superadas.

A eletrização foi o tema explorado na quarta questão, “Explique a razão de os pêlos se arrepiarem ao tirar a blusa de lã”. Aqui se constatou com mais propriedade que havia indícios de que os alunos perceberam o objetivo do produto educacional, ou seja, despertar neles a motivação, a criatividade e acima de tudo, a ampliação dos conhecimentos científicos. Dentre as respostas, destacam-se:

Quadro 30: Quarta questão – Questionário Final

Porque as cargas negativas do cabelo entra em contato com a carga neutra da blusa de lã. (A40)
Porque a blusa de lã contém prótons e o cabelo tem elétrons. (A32)
Porque entram em contato. (A55)
Por causa que a blusa de lã está cheio de carga positiva e o cabelo é neutro, então quando se tocam o cabelo arrepia. (A61)
A blusa ao tirar-se, eletrizou-se por atrito e as cargas elétricas geradas foram conduzidas até os fios de cabelo. (A51)

Fonte: Autoria própria (2019).

No quadro acima, expressa-se apenas 5 respostas, sendo que 02 alunos “não responderam, deixando em branco” dentre as 59 respostas que se teve, mas que poderia expressar quase que na sua totalidade, pois todas se apresentaram de forma coerente ao conteúdo trabalhado. A forma como os alunos apresentaram respostas mais adequadas nesta questão, pode estar relacionada com as atividades experimentais desenvolvidas sobre este tema. Convém ressaltar que após a realização dos experimentos, os alunos foram solicitados pelo professor-pesquisador a produzirem um breve relatório, o que pode ter favorecido nessa etapa da pesquisa.

Abaixo seguem algumas respostas dos alunos referentes à quinta questão: “A estrutura metálica do carro protege o motorista de um raio. Por que isso acontece?”

Quadro 31: Quinta questão – Questionário Final

Porque o carro é como uma blindagem eletrostática. (A61)
A estrutura metálica é uma barreira, para o raio não entrar em contato com o motorista. (A55)
A eletricidade só vai ficar na carroceria do carro. (A43)
Quando o raio atinge a estrutura metálica impede o raio de atingir o motorista. (A41)
A estrutura metálica serve de gaiola de Faraday, não deixando a eletricidade passar.(A32)
O raio vai ficar na superfície do carro ocorrendo o fenômeno da blindagem eletrostática. (A40)
O raio energiza as partes metálicas do carro, deixando a pessoa intacta nos bancos. (A54)
A estrutura mantém a carga elétrica para fora. (A19)
É um tipo de gaiola de Faraday, aonde a estrutura metálica do carro dentro é nulo. (A36)

Fonte: Autoria própria (2019).

Constata-se com as respostas de 09 alunos, citadas acima, de que o conteúdo da blindagem eletrostática ocorreu um aprendizado significativo. Das questões respondidas, 03 alunos “não responderam”, as outras 17, um tanto meio equivocadas; em que citam que é “por causa da borracha do pneu ser isolante térmico”, porém, é possível perceber o comprometimento dos alunos em darem respostas que atenderiam ao objetivo proposto, mesmo sendo de senso comum. Vale lembrar que esse conteúdo foi bastante trabalhado, com exemplos práticos do cotidiano por meio de experimentos do celular embrulhado no papel alumínio e também a gaiola de arame, além de imagens sobre o fenômeno.

Na sexta questão que perguntava, “Quais são as condições climáticas favoráveis à ocorrência de raios?”, todos os alunos responderam, conforme seguem algumas das respostas obtidas:

Quadro 32: Sexta questão – Questionário Final

Clima chuvoso. (A58)
Chuvas fortes, tempestade, temporais, nublado e vendavais. (A23)
Umidade do ar muito alta e nublado. (A61)
Altas temperaturas, muitas nuvens. (A37)
Tempo seco e umidade baixa. (A05)
O clima quente fica propício a ocorrência de raios, ou seja, a formação de descargas elétricas nas nuvens acontece pela colisão das partículas de gelo, água e granizo. (A45)
Tempo abafado formado para chuva e umidade do ar alta. (A16)

Fonte: Autoria própria (2019).

Diante do que foi trabalhado, relacionando o aprendizado da ciência do cotidiano com o conteúdo científico, foram esperadas respostas satisfatórias. Assim foi discutido novamente o conteúdo, a fim de que as dúvidas ainda existentes fossem superadas. Percebeu-se o comprometimento dos alunos em darem respostas que atenderiam ao objetivo proposto, aproximando do senso científico.

Em relação à sétima questão, assim como no início da intervenção, não houve tantas dificuldades nas respostas por parte dos alunos. Na questão 7: “Cite exemplos de materiais condutores e isolantes:”, havia respostas justificadas com certo rigor científico e apenas dois alunos deixaram em branco. Analisando os excertos que seguem, tem-se:

Quadro 33: Sétima questão – Questionário Final

Condutores: cobre, alumínio, ouro, prata, os metais, parafuso, corpo humano, água, fios de energia, aço, platina, lã, terra e sal. (A46)
Ferro, água, cobre e alumínio. (A11)
Carro, alicate, lã, alumínio. (A21)
Fios, madeira, ferro. (A02)
Luva de borracha, plástico, vidro. (A43)
Metais e fios de cobre. (A26)
Corpo humano e plástico. (A56)
Isolantes: borracha, plástico, vidro, madeira, fita isolante, luva de borracha, silicone, isopor, cortiça, ar, papel e cerâmica. (A27)

Fonte: Autoria própria (2019).

A oitava questão, “Explique por que quando se vai fazer uma pintura eletrostática, ou seja, a base de pó epóxi, é necessário que as partículas de tinta sejam ionizadas para a realização de um bom trabalho.”, Se comparadas com as respostas iniciais com as finais, é possível perceber avanço em relação ao conhecimento científico, haja vista que esta mesma questão, no início da intervenção, causou certa confusão em relação ao conteúdo, devido a ser um tema pouco trabalhado no Ensino Médio. Agora, ao final, 40 alunos responderam corretamente toda a questão, 01 aluno respondeu: “não sei” e 20 deixaram em branco. Houve um o progresso significativo apresentado pelos alunos em relação ao questionário inicial. Conforme segue abaixo algumas respostas:

Quadro 34: Oitava questão – Questionário Final

Para que ocorresse a fundição entre o objeto e a tinta. (A24)
Por que elas se fixam melhor no local da aplicação. (A43)
Por que ao ser esquentada a tinta derrete e gruda com perfeição ao material ao qual está sendo aplicado. (A03)
Para uma melhor fixação na pintura do carro tendo melhor aderência. (A33)
Para que sejam quebradas as partículas de tintas, deixando a pintura mais lisa. (A06)

Fonte: Autoria própria (2019).

O para-raios e a aplicação no cotidiano do aluno foi o tema da décima questão. “Um para-raios consiste em uma haste metálica, ligada a terra por um fio grosso metálico. Por que o para-raios deve ser posicionado em um local mais elevado?”. Nesta questão se observou que as atividades desenvolvidas neste trabalho despertaram a motivação, a criatividade e, acima de tudo, a ampliação dos conhecimentos científicos dos alunos. Constatou-se também que os estudantes perceberam o objetivo do produto educacional. Dentre as respostas, pode-se destacar:

Quadro 35: Nona questão – Questionário Final

Para atrair os raios e diante disso levá-los pelo metal até a terra. (A53)
Para que o raio seja atraído diretamente para a haste. (A29)
Por que normalmente o raio vem de cima. (A48)
Por que oferece um caminho de resistência para a descarga elétrica atmosférica. (A21)
Para que ele possa parar o raio sem machucar ninguém. (A40)
Para proteger e não matar plantações, evitar prejuízos materiais e humanos. (A37)
Para o raio não ter riscos de ocorrer nas casas e plantações. (A60)
Para o raio atingir apenas o para-raios primeiro. (A54)
Proteger os edifícios dos possíveis danos causados pelos raios. (A31)
Para que o raio caía sobre um lugar seguro no solo, protegendo matas e pessoas. (A36)
Para evitar que a corrente elétrica tenha contato com a casa. (A25)
Para que não cause explosão próxima as pessoas. (A55)
Pois o raio tende a atingir o ponto mais alto do local. (A44)

Fonte: Autoria própria (2019).

No quadro acima, expressa-se algumas respostas, sendo que 02 alunos não

responderam e entre as 59 respostas que se teve, pode-se expressar quase que na sua totalidade, pois todas apresentaram de forma coerente o conteúdo trabalhado.

Analisando agora a última questão que visava relacionar a primeira coluna de acordo com a segunda coluna:

<p>1) Suas contribuições à ciência vão desde as criações: do motor elétrico, do transformador, do transformador, do gerador elétrico e do dínamo até as leis da eletrólise e o efeito Faraday, foi um dos maiores cientistas experimentais de todos os tempos.</p> <p>2) Dos estudos da gravitação e do movimento dos corpos, fez descobertas sobre a composição da luz e estudos em química, geometria, teologia, alquimia e filosofia.</p> <p>3) Inventor do termômetro por dilatação do mercúrio e da Fahrenheit.</p> <p>4) Comprovou a existência de dois tipos de força elétrica: uma de atração e a outra de repulsão.</p> <p>5) Atribuem-se a ele a invenção do para-raios e a introdução dos termos positiva e negativa para referir-se às cargas elétricas.</p>	<p>() Daniel Gabriel Fahrenheit.</p> <p>() Isaac Newton.</p> <p>() Benjamin Franklin</p> <p>() Charles Augustin Coulomb.</p> <p>() Michael Faraday.</p>
--	--

Analisando as respostas, nota-se que 13 alunos responderam incorretamente e 48 alunos relacionaram corretamente a primeira coluna com a segunda coluna.

Aqui se pode constatar que os alunos entenderam o objetivo da pesquisa-intervenção, ou seja, acima de tudo, a ampliação dos conhecimentos em diferentes dimensões. Quando refletido sobre os exercícios e as diferentes atividades trabalhadas, percebe-se avanços significativos, em que os alunos conseguiram apresentar e articular respostas relacionadas com o seu cotidiano. Para encerramento, segue alguns relatos em situações do cotidiano que os alunos identificam onde há força elétrica e campo elétrico. Várias respostas coerentes foram obtidas com o que foi abordado em sala de aula:

Quadro 36: Relatório – Questionário Final

O atrito da lã com o nosso corpo ocorre um acúmulo de carga, causando estalos com a retirada da blusa de lã. (A38)
Por que os elétrons vão ficar na superfície do carro ocorrendo uma blindagem eletrostática. (A44)
Para que o raio caía sobre um lugar seguro no solo, protegendo matas e pessoas. (A36)
Para evitar que a corrente elétrica tenha contato com a casa. (A25)
Para que ocorresse a fundição entre o objeto e a tinta. (A24)
Por que elas se fixam melhor no local da aplicação. (A43)
O raio é uma descarga elétrica produzida entre as nuvens e o solo. Trovões são ondas sonoras. (A10)
Pude perceber que quando o professor explicou sobre a estrutura metálica do carro protege o motorista de um raio entendi o efeito de blindagem eletrostática, pois, sempre soube que eram os pneus que protegiam por serem isolantes térmicos. (A08)

Fonte: Autoria própria (2019).

Para finalizar essa etapa, observou-se que alguns alunos responderam dentro das expectativas esperadas, fazendo a interação com a sua realidade, porém, alguns alunos ainda apresentavam respostas totalmente fora do contexto. Considerando os relatos dos alunos, notou-se que, de maneira geral, conseguiram relacionar o conteúdo trabalhado com situações cotidianas, todavia, o conhecimento científico ainda precisaria ser mais trabalhado. Vale ressaltar que os conteúdos Lei de Coulomb e Lei de Gauss, objeto de estudo do nosso produto educacional, é pouco trabalhado nas escolas Estaduais, o que nos leva a uma reflexão e interação maior como aluno para que possa compreender a proposta de trabalho.

Mesmo considerando o curto intervalo fornecido para o desenvolvimento das atividades, os diversos fenômenos explorados, as diversas ferramentas aplicadas, tem-se a certeza de que se procurou garantir a aprendizagem dos alunos, sendo que os mesmos se envolveram manifestando o desejo de aprender, buscando analisar a importância dos conhecimentos escolares com motivação, compreensão crítica na transformação social. Ainda vale lembrar que para alguns alunos que participaram da pesquisa, alguns pontos ainda eram confusos, mas, mesmo assim, traziam um conhecimento do senso comum a respeito do tema.

Convém ressaltar que os argumentos utilizados pelos alunos em suas respostas

estavam comumente voltados às situações com as quais eles estavam familiarizados, ou seja, aquilo que havia sido vivenciado no cotidiano. Ademais, esse trabalho foi importante para elencar e repensar a maneira como está sendo visto o ensino de Física e contribuir com metodologias diferenciadas para que o educando possa relacionar a sua realidade. Todavia, quando é abordado sobre Física, automaticamente os estudantes relacionam este conteúdo com o formalismo matemático, o que os leva a apresentar certa resistência aos cálculos. Com isso, conteúdos como Lei de Coulomb e Lei de Gauss, propostos do nosso trabalho, acabam gerando respostas do senso comum, deixando de lado a dimensão conceitual e científica. Isso só mostra que os conteúdos da disciplina de Física precisam ser ampliados, visando o desenvolvimento mais aprofundado, interativo, problematizador na sala de aula, buscando a articulação entre teoria e prática, entre os saberes cotidianos e o conhecimento científico.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Essa proposta está relacionada na aplicação de uma metodologia capaz de permitir o ensino de conteúdos da disciplina de Física, fundamentados nos conceitos de eletrostática. Nesse sentido, estudar a Física também é compreender como ocorreu o desempenho dos alunos a partir da metodologia proposta. Observar a motivação, o entendimento dos conceitos e a socialização são alguns aspectos na aprendizagem significativa no embasamento dos conteúdos e na aplicação do plano de unidade. Sendo os enfoques principais à disposição dos alunos em aprender, se os instrumentos didáticos apresentados foram capazes de despertar o ensino aprendido dos educandos e se permitiu a articulação do conhecimento científico com as outras áreas da ciência da natureza.

O presente trabalho buscou apresentar uma proposta para o ensino do conteúdo de eletrostática que é contemplado no currículo do terceiro ano do Ensino Médio, enquanto requisito das questões relativas a Força elétrica e Campo elétrico, bem como sua relevância para a Educação Básica, levando à justificativa pela escolha do tema proposto. A partir dos dados analisados sobre como o conteúdo vem sendo tratado nas salas de aulas, observou-se a limitação dos conteúdos de Lei de Coulomb e da Lei de Gauss no Ensino Médio. Verificou-se que atualmente tem sido conduzida uma abordagem mais superficial a respeito desses conteúdos, dificultando, dessa forma, a possibilidade do educando relacionar tais conteúdos com as situações práticas do cotidiano.

Entretanto, objetivou-se propiciar ao educador ferramentas metodológicas que busquem fundamentar o trabalho pedagógico da disciplina de Física, para que estes consigam praticar o ensino de ciências da melhor forma possível. Sendo a ciência tratada através de situações problematizadas no cotidiano do aluno, elaborando assim um conhecimento científico mais orientado, buscando, dessa forma, motivar os alunos ao ensino aprendido.

Diante disso, espera-se que a realização de atividades teórica-práticas/experimentais de Física utilizando materiais simples, de baixo custo, de fácil acesso e o uso do simulador *Schanpsidee*, nesse caso o produto educacional que foi desenvolvido referente ao tema de Força elétrica e Campo elétrico, sirva de base aos professores e alunos, contribuindo para uma melhor compreensão dos conteúdos trabalhados em sala de aula, bem como para mostrar a relevância desses conteúdos

como a interação no momento da experimentação, permitindo que o aluno apresente motivação, entendimento no momento de aprender.

Durante a aplicação dos experimentos, pode-se constatar o envolvimento de todos os alunos, os quais buscavam explicações durante a realização e procuravam assimilar teoria à prática. Diante das atividades aplicadas, é possível afirmar que os resultados alcançados foram satisfatórios, no qual houve envolvimento dos educandos e assimilação dos conceitos no ensino aprendido, relacionados com aplicações do cotidiano dos mesmos.

REFERÊNCIAS

ALVES, Rodrigo Cândido. **O ensino de física com lousa digital: atividades lúdicas como ferramenta mediadora na aprendizagem**. 2015. 114 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências e Tecnologia, 2015.

AUSUBEL, D. P. **The use of advanced organizers in the learning and retention of meaningful verbal material**. *Journal of Educational Psychology*, v. 51, n. 5, p. 267-272, 1960.

AUSUBEL, D. P.; NOVAK, J. D.; HANESIAN, H. **Psicologia educacional**. Tradução de Eva Nicket al. 2. ed. Rio de Janeiro: Interamericana, 1980.

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. p.19-33.

BACHELARD, Gaston. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BEILNER, Gregory. MUCHENSKI, Fabio. **Desenvolvimento de uma atividade experimental de baixo custo para o estudo das superfícies equipotenciais entre placas planas e paralela aplicada em duas turmas de Ensino Médio de uma escola pública federal atendida pelo PIBID**. *Ensino e Pesquisa*, v. 13, nº 3, 2015.

BEM, DOV.Y. **Convite à Física**. Tradução de Maria Luiza X. de A. Borges. Rio de Janeiro– RJ, Jorge Zahar Editor Ltda., 1996.

BORGES, A. T. Como Evoluem os modelos mentais. **Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências**. Belo Horizonte. Vol. 1, Nº 1, 1999.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais para o Ensino Médio (PCNs)**. Orientações Educacionais Complementares aos **Parâmetros Curriculares Nacionais** Ciências da Natureza, Matemática e suas Tecnologias. MEC, 2006.

CAMELO, Francisco Joselito Parente. **Eletricidade por meio de oficinas pedagógicas: contribuições da teoria sócio-interacionista**. 2012. 84 f. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências, Programa de Pós-Graduação de Mestrado Profissional em Ensino de Ciências e Matemática, Fortaleza-Ce, 2012.

CAMILLO, J.; ASSIS, A.K.T. **Construção de um gerador eletrostático gotejante: chuva elétrica de Kelvin**. *Física na Escola*, v. 9, n. 1, 2008.

CARDOSO, Stenio Octávio de Oliveira; DICKMAN, Adriana Gomes. **Simulação Computacional Aliada à Teoria da Aprendizagem Significativa: Uma Ferramenta para Ensino e Aprendizagem do Efeito Fotoelétrico**. Caderno

Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. Especial 2, p. 891-934, outubro, 2012.

CARVALHO, A. M. P.; SASSERON, L. H. Alfabetização Científica: Uma Revisão Bibliográfica. **Investigações em Ensino de Ciências**, v. 16(1), 2011. p. 59-77.

CARVALHO, S.; ZANETIC, J. **Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da física moderna**. 2004. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas. Anais... São Paulo: SBF, 2004.

CAVALCANTE, D. D.; SILVA, A. D. **Modelos didáticos de professores: concepções de ensino-aprendizagem e experimentação**. In: XIV Encontro Nacional de Ensino de Química. 2008, Curitiba. Anais. Curitiba: UFMG, 2008.

CUITÉ, Cleiton Reis. PIMENTA, Elisangela Aguiar. SILVA, Maria de Jesus Castro da. SILVA, Cleidiane Feitosa da. **Campo elétrico fácil, fácil!: metodologia experimental para ensinar o conceito de campo elétrico no ensino médio**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará Campus Bragança. 6 f. Novembro, 2017.

DEBOER, G. E. Historical perspectives on inquiry teaching in schools. In: FLICK; LEDREMAN. **Scientific inquiry and nature of science: Implications for teaching, learning, and teacher education**. Springer, 2006.

DEIMLING, C.V.; Propriedades inter e intragranulares de amostras mesoscópicas de YBa₂Cu₃O_{7-δ}; preparadas por síntese química. **São Carlos, UFSCar, 2010**.

FERNANDES, G. L.; **Propriedades Fundamentais dos Núcleos Atômicos**. UFU, 2004.

FIOLHAIS, C.; TRINDADE, J. **Física no computador: o computador como uma ferramenta no ensino e na aprendizagem das ciências físicas**. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 25, n. 3, p. 259-272, set. 2003.

GASPARIN, J. L. **Uma Didática para a Pedagogia Histórico-Crítica**. 3. ed. Campinas: Autores Associados, 2012.

GIL, D. et al. Trabalho publicado na revista da OEI, 2002.

GOMES, Valdenes Carvalho. **O Uso de Simulações Computacionais do Efeito Fotoelétrico no Ensino Médio**. Campina Grande: UNEPB, 2011. 118 p. Dissertação (Mestrado em Ensino de Ciências e Matemática) – Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Educação Matemática, Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande 2011.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física. Volume 3: Eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

KRASILCHIK, Myriam. **Reformas e realidade: o caso do ensino das ciências**. São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v.14, n.1, p. 85-93, 2000.

LIBÂNEO, J. C. **Democratização da escola pública a pedagogia crítico-social dos conteúdos**. 19. ed. Coleção Educar. Edições Loyola. São Paulo, 2003.

LÜDKE, M. ANDRÉ, M. E. D. A. **Pesquisa em Educação: abordagens qualitativas**.

2 ed. São Paulo: E.P.U., 2014.

MACÊDO, Josué Antunes; DICKMAN, Adriana Gomes; ANDRADE, Isabela Silva Faleiro. **Simulações Computacionais como Ferramentas para o Ensino de Conceitos Básicos de Eletricidade**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 29, n. Especial 1: p. 562-613, 2012.

MINAYO, M. C. S. (Org.). **Pesquisa social: teoria, método e criatividade**. Petrópolis: Vozes, 2001.

MONTEIRO, I. C. C.; GASPAR, A. **Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vygotski**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 2, p. 2, 2005.

OLIVEIRA, C.G., **Uma proposta para a inserção do conteúdo de momento angular no ensino médio**. PR, 2019.

OLIVEIRA, M. K. **Vygotsky: aprendizado e desenvolvimento: um processo sócio-histórico**. 4. ed. São Paulo: Scipione, 1997.

OLIVEIRA, Ronaldo Furtado de.; PEREIRA, Marcia Regina Santana. **Utilizando o versório de Gilbert magnetizado para verificar o comportamento da força elétrica entre duas cargas em repouso em função da distância entre elas**. Física na Escola, v. 16, n. 1, 2018.

ORTIZ, João Paulo Martins Tobaruela. **Ensinando o conceito de campo elétrico a partir do fenômeno do raio**. 63. Monografia (Departamento de Física) Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, São Paulo, 2015.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea” no ensino médio**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.5, n.2, paginação eletrônica, 2000.

PARANÁ, Secretaria de Estado de Educação. Departamento de Educação Básica de **Diretrizes Curriculares da Educação Básica de Física**. Curitiba: SEED – PR, 2008.

PARO, V. H. **Administração Escolar: introdução crítica**. 16 ed. São Paulo: Cortez, 2012.

PEDROSO, Luciano Soares. **O ensino de conceitos de eletromagnetismo: simulações interativas em Easy Java Simulations**. Dissertação. 113 f. Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Programa de Pós-Graduação em Ensino de Ciências e Matemática. Belo Horizonte, 2008

PEREIRA, M. L. D. A. A.; OLENKA, L.; OLIVEIRA, P. E. D. F. **Física em Ação através de Tirinhas e Histórias em Quadrinhos**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 33, n. 3, 896-926, 2016.

PIAGET, J. **Para onde vai a educação?** 1998. In: GIOPPPO, C; SCHEFFER, E. W. O.; NEVES, M. C. D. **O ensino experimental na escola fundamental: uma reflexão de caso no Paraná**. Educar, n. 14, p. 39-57. Ed. da UFPR. 1998.

RAMOS, L. da S.; ANTUNES, F.; SILVA, L. H. de A. **Concepções de professores de Ciências sobre o ensino de Ciências**. Revista da SBEnBio, n. 03, Outubro de 2010.

REGINALDO, Carla Camargo, SHEID, Neusa John e GULLICH, Roque Ismael da Costa. "O ENSINO DE CIÊNCIAS E A EXPERIMENTAÇÃO". **Seminário de Pesquisa em Educação da Região Sul, IX ANPED SUL, 2012**.

ROSA, P. R. da Silva. **Um curso de Metodologia da Pesquisa em Ensino de Ciências**. Campo Grande: EDUFMS, 2010.

SANTOS, D. R. dos. **Limites e potencialidades do uso de tirinhas na significação de conceitos de física no ensino médio** / Dionei Ruã dos Santos. – Ijuí, 2013. – 82 f. : il. ; 30 cm. Dissertação (mestrado) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (Campus Ijuí e Santa Rosa). Educação nas Ciências.

SANTOS, M. E. N. V. M. **Análise de discursos de tipo CTS em manuais de ciências**. Trabalho apresentado no Congresso de Didactica de las Ciencias, Barcelona, Espanha, set. 2001.

SAVIANI, D. **Pedagogia Histórico Crítica: primeiras aproximações**. Campinas: Autores Associados, 10ª edição, 2008.

SAVIANI, D. **Escola e Democracia: teorias da educação, curvatura da vara, onze teses sobre educação e política**. 41ª ed. rev. Campinas: Autores Associados, 2009.

Secretaria de Estado da Educação do Paraná, Superintendência da Educação: INSTRUÇÃO Nº 04/2005 - SEED/SUED.

SHERIN, B. EDELSON, D. BROWN, M. On the content of task- structured science curricula. In: **Scientific Inquiry and nature of science: implications for teaching, learning, and teacher education**. Springer, 2006.

SAMPAIO, T.A.S.M.; RODRIGUES E da S.; SOUZA CJ de M. **Aparato experimental para o ensino de tópicos da eletrostática: o eletroscópio com transistor de efeito de campo**. Caderno Brasileiro de Ensino de Física, v. 34. nº 1. 298-309, 2017.

SANDOVAL, W. A. Understanding students 'practical epistemologies and their influence on learning through inquiry. **Science Education**, v.89, n.4, p. 634-656, 2005.

SILVA, Beine José da. **Um jogo de cartas: uma proposta de aprendizagem significativa para o ensino médio de conceitos relacionados à eletrização e a Lei de Coulomb.** 2015. 90 f. Dissertação (Mestrado profissional em Ensino de Ciências Naturais) – Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Física, Cuiabá, 2015.

SILVA, José Nilson; **Uma abordagem histórica e experimental da Eletrostática.** Estação Científica, (UNIFAP) Macapá, v. 1, n. 1, p. 99, 2011.

SILVA, Ricardo Monteiro. **Sequência didática multimídia para o ensino do efeito fotoelétrico** – 2015. 108 f. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2015.

TIPLER, Paul; Mosca, Gene - Física (Volume 2) - **Eletricidade & Magnetismo e Ótica.** Livros Técnicos e Científicos, 2009.

TOLEDO, B. de S. **O uso de softwares como ferramenta de ensino-aprendizagem na educação do ensino médio/técnico no Instituto Federal de Minas Gerais.** Universidade FUMEC. Belo Horizonte, 2015.

ZABALA, A. **A prática Educativa: Como Ensinar.** Tradução: Ernani F. da Rosa. Porto Alegre: Artmed, 1998.

VAZ, Leandro Marcos Alves. **Propondo material de apoio à prática com simuladores no ensino/aprendizagem de eletrostática em EJA.** 2015. 147 f., il. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Universidade de Brasília, Brasília, 2015.

WEISS, Josiane Maria.; NETO, A. S. de A. **Uma investigação a respeito da utilização de simulações e computacionais no ensino de eletrostática.** V encontro nacional de pesquisa em educação em ciências, 2005.

ZEMANSKY, Sears e Freedman, Young E. **Física III Eletromagnetismo,** Ed. Addison Wesley 2009

APÊNDICE A – Plano de Unidade

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE FÍSICA
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA
CAMPUS CAMPO MOURÃO**

LUCIANE SANT'ANA

**UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB E DA LEI DE
GAUSS NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

**CAMPO MOURÃO
2020**

LUCIANE SANT'ANA

**UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB E DA LEI DE
GAUSS NA EDUCAÇÃO BÁSICA**

Produto Educacional apresentado ao Programa de Pós-Graduação no Curso de Mestrado Profissional de Ensino de Física – Polo 32, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Ensino de Física.

Orientador: Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling

CAMPO MOURÃO
2020

APRESENTAÇÃO

A reivindicação pela educação de qualidade assumiu diferentes manifestações ao longo da história e atualmente o papel específico da escola é não somente ensinar, mas também democratizar o ensino e priorizar a educação como um todo. Democratizar a escola, neste contexto, significa ampliar as oportunidades, melhorar qualitativamente o ensino público, ampliar a possibilidade de participação social das camadas populares através da aquisição de conteúdos escolares, com aprimoramento da prática educativa, com melhoria de vida e mudanças da sociedade. Dessa forma, a necessidade histórica de democratização da escola amplia o acesso e permanência do educando para que tenham a posse do saber e, portanto, nesse sentido, para que sejam garantidas as condições necessárias para o bom desenvolvimento do processo de ensino-aprendizagem, devemos considerar o atual cenário da educação básica e as dificuldades e enfrentamentos dos conteúdos relacionados à Física e ao seu ensino.

Diante da reconhecida relevância na literatura científica, a discussão sobre os problemas e enfrentamentos no ensino de Física no Brasil destacados por pesquisadores (BACHELARD, 1996; BORGES, 1999; OSTERMANN e MOREIRA, 2000; CARVALHO e ZANETIC, 2004) tem apontado dificuldades como ementas extremamente extensas frente ao tempo destinado às atividades com os estudantes, desvalorização da carreira docente, escassez de recursos físicos para o desenvolvimento de atividades, poucos recursos financeiros para manutenção dos insumos necessários para o desenvolvimento de atividades, além da ausência de uma formação específica dos professores que lecionam esta disciplina, especialmente nas redes públicas de ensino.

Além dos problemas citados anteriormente, podemos ainda destacar a dicotomia entre teoria e prática e entre conhecimento científico e do cotidiano no processo de ensino-aprendizagem. Em muitas situações os conteúdos de Física são tratados de maneira desconexa, fazendo com que os estudantes frequentemente apresentem algumas dificuldades em relacionar os conteúdos curriculares à realidade cotidiana. Considerando esses aspectos, fazem-se necessárias ações que contribuam para a minimização das dificuldades enfrentadas, ainda que não as supere, uma vez que, sendo um problema conjuntural, sua superação também

requer ações conjuntas e sistemáticas. Uma das ações possíveis de serem realizadas e que também interfere diretamente na qualidade do processo de ensino-aprendizagem se refere à forma como os conteúdos são abordados em sala de aula tanto no ensino de Física quanto em outras áreas do conhecimento.

Desse modo, tomando como base o ensino de Física, nosso foco será o conteúdo Lei de Coulomb, pois, trata-se de um conteúdo que, ao exigir grande rigor matemático, é costumeiramente trabalhado apenas em seus aspectos teóricos com poucas atividades práticas e sem a adequada articulação com a realidade social. Assim, objetivamos com este trabalho discutir de que maneira o conteúdo Lei de Coulomb e Lei de Gauss tem sido trabalhado na disciplina de Física do Ensino Médio a partir de um levantamento de trabalhos científicos que abordam essa temática.

Muitas são as ações didático-pedagógicas que podem ser utilizadas na abordagem desse conteúdo em sala de aula: experimentação, atividades lúdico-pedagógicas, utilização de diferentes gêneros textuais, exposição oral dialogada, mapas conceituais, dinâmicas de grupo, debates, entre outros. No que se refere especificamente à experimentação, Monteiro (2005) destaca sua importância enquanto estratégia que pode favorecer a relação dialética entre teoria e prática e possibilitar uma maior motivação e interesse nos alunos para a aprendizagem.

Tomando como aporte teórico a Pedagogia Histórico-Crítica, obedecendo às etapas que dela fazem parte e através de uma importante revisão bibliográfica, buscamos um contato com todas as variáveis do tema a ser estudado para que fosse possível fazer uma reflexão crítica sobre o mesmo. O conteúdo de ensino da Lei de Coulomb e Lei de Gauss na disciplina de Física do Ensino Médio foram abordados em quatro turmas do terceiro ano do Ensino Médio de quatro colégios públicos pertencente ao Núcleo Regional de Educação do município de Toledo-PR, através de alguns materiais e recursos por nós elaborados que integraram parte do produto educacional. O Plano de Unidade, parte integrante do produto educacional, foi dividido em seis tópicos que serão detalhados e desenvolvidos a seguir: 1- Eletricidade, Carga elétrica: história, modelo atômico e propriedades; 2 - Condutores e isolantes. Processos de eletrização; 3 - Força elétrica; 4 - Campo elétrico; 5 - Lei de Gauss; 6 - Considerações finais a respeito do questionário inicial.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Descargas elétricas em uma tempestade.	139
Figura 2: Raios em um vulcão.....	140
Figura 3: Cristo Redentor sendo atingido por um raio.....	141
Figura 4: Representação do modelo atômico de Bohr.....	143
Figura 5: Interação entre cargas elétricas.....	145
Figura 6: Exemplos de materiais condutores.....	147
Figura 7: Exemplos de materiais isolantes elétricos comercialmente disponíveis... 148	
Figura 8: Circuito eletrônico apresentando aplicação dos dispositivos semicondutores.....	148
Figura 9: Levitação magnética a partir de um supercondutor resfriado abaixo de T_c	149
Figura 10: Esquema de montagem da atividade prática: Classificando diferentes materiais.....	150
Figura 11: Determinação do tipo de carga gerada no processo de eletrização por atrito.....	153
Figura 12: Esquema de montagem da atividade 3.....	155
Figura 13: Eletrização por contato.....	156
Figura 14: Etapas envolvidas na eletrização por indução. Em (1) o indutor B é aproximado da esfera A, que em (2) está aterrada permitindo que elétrons neutralizem as cargas positivas induzidas, restando apenas cargas negativas.....	158
Figura 15: Esquema para eletrização por indução com carga de mesmo sinal do indutor.....	159
Figura 16: Esquema ilustrando a polarização de um material isolante.....	159
Figura 17: Esquema ilustrando o processo de pintura eletrostática.....	160
Figura 18: Ilustração de alguns componentes da máquina fotocopadora.....	161
Figura 19: Ilustração de um eletroscópio.....	162
Figura 20: Orientação da força elétrica.....	166
Figura 21: Força elétrica entre esferas carregadas.....	170
Figura 22: Força elétrica nula quando a partícula carregada está localizada no interior de uma casca esférica.....	171
Figura 23: Força elétrica em uma partícula carregada q_2 localizada no interior de uma casca esférica isolante.....	171

Figura 24: Definição de campo elétrico	175
Figura 25: Campo elétrico para cargas orientadas sobre uma única reta.	176
Figura 26: Representação esquemática da soma de vetores – Lei dos Cossenos.	177
Figura 27: Representação esquemática de vetores no plano.	179
Figura 28: Representação esquemática de um vetor no plano – Método Gráfico... ..	180
Figura 29: Representação dos vetores de campo elétrico no plano cartesiano. Detalhe dessa Figura representa a regra do paralelogramo.	182
Figura 30: Representação da distribuição de cargas descrita no exemplo acima... ..	185
Figura 31: Representação dos vetores radiais e axiais de campo elétrico no eixo do anel carregado uniformemente.....	186
Figura 32: Representação da distribuição linear de cargas do exemplo 05.	190
Figura 33: Interface para montagem do cenário e definição da posição da carga de prova (em preta).....	192
Figura 34: Interface para escolha das grandezas físicas que serão calculadas.....	193
Figura 35: Imagem de uma simulação do vetor campo elétrico gerado por uma distribuição de cargas contínua e homogênea em um anel.	194
Figura 36: Linhas de campo para diferentes configurações de carga, considerando cargas pontuais de mesmo sinal em a), cargas pontuais de sinais opostos em b) e as linhas de campo formadas por planos paralelos com cargas de sinais opostos em c).	198
Figura 37: Representação do fluxo elétrico em diferentes superfícies. a) Representa o fluxo elétrico negativo entrando na área A. b) representa o fluxo em uma superfície fechada, negativo quando entra na superfície e positivo quando sai.	199
Figura 38: Representação da superfície gaussiana para uma partícula carregada.	200
Figura 39: Representação da superfície gaussiana interna a uma esfera uniformemente carregada.	201
Figura 40: Representação da superfície gaussiana para uma linha infinita de cargas.	202
Figura 41: Representação da superfície gaussiana para plano infinito de cargas.	204
Figura 42: Representação da superfície gaussiana para plano infinito condutor e espesso de cargas.	205
Figura 43: Representação da blindagem eletromagnética em condutores.	206

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Carga elétrica das partículas subatômicas.....	144
Quadro 2: Ordens de grandeza da carga elétrica.	144
Quadro 3: Representação esquemática de algumas distribuições de cargas elétricas, suas equações e limitações para o uso.	188

SUMÁRIO

CONTEÚDO: ENSINO DA LEI DE COULOMB E LEI DE GAUSS	128
1 OBJETIVO GERAL	129
2. TÓPICOS DE CONTEÚDOS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	130
3. PRÁTICA SOCIAL INICIAL.....	132
4. PROBLEMATIZAÇÃO	133
5. INSTRUMENTALIZAÇÃO	134
5.1 Processos de eletrização.....	135
6. CATARSE	138
6.1 TÓPICO 1: ELETRICIDADE E SUA ORIGEM.....	139
6.2 TÓPICO 2: CONDUTORES E ISOLANTES.....	147
6.2.1 <i>Processos de eletrização.....</i>	152
6.2.1.1 <i>Eletrização por atrito.....</i>	152
6.2.2 <i>Eletrização por contato.....</i>	156
6.2.3 <i>Eletrização por indução.....</i>	157
6.3 TÓPICO 3: FORÇA ELÉTRICA.....	165
6.4 TÓPICO 4: CAMPO ELÉTRICO.....	174
6.5 TÓPICO 5: A LEI DE GAUSS.....	197
6.6 TÓPICO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DO QUESTIONÁRIO INICIAL.....	210
7. PRÁTICA SOCIAL FINAL.....	211
REFERÊNCIAS.....	213
APÊNDICE B: Termo De Consentimento Livre Esclarecido.....	214
APÊNDICE C: Questionário Inicial.....	216
APÊNDICE D: Questionário Final	218

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

SBF
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA

PLANO DE UNIDADE 2019

INSTITUIÇÃO: ESCOLA DA REDE PÚBLICA DO NÚCLEO REGIONAL DE TOLEDO

PROFESSORA: LUCIANE SANT'ANA

DISCIPLINA: FÍSICA

PLANO DE UNIDADE: LEI DE COULOMB E LEI DE GAUSS

ANO LETIVO: 2019

TRIMESTRE: 3º

SÉRIE: 3º ANO

DURAÇÃO: 12h/a

CONTEÚDO: ENSINO DA LEI DE COULOMB E LEI DE GAUSS

1 OBJETIVO GERAL

Desenvolver e avaliar os conceitos prévios dos alunos partindo de exemplos práticos do cotidiano, possibilitando que o estudante desenvolva a capacidade de organizar e sistematizar os dados e resultados referentes ao conteúdo de Lei de Coulomb e Lei de Gauss na disciplina de Física do Ensino Médio.

Introduzir ao aluno uma discussão, a fim de diagnosticar conceitos básicos de eletricidade, como também uma discussão oral a fim de proporcionar um debate inicial sobre o tema, com o objetivo de explorar os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos e, a partir desse levantamento, iniciar a problematização do conteúdo.

Classificar os materiais isolantes, condutores, semicondutores e supercondutores elétricos. Identificar os processos de eletrização: contato, indução e condução.

Caracterizar a força elétrica e entender que a Lei de Coulomb pode ser aplicada a qualquer distribuição de cargas contínuas.

Diferenciar campo elétrico de carga elétrica; calcular campo elétrico gerado por uma carga puntiforme e por outras distribuições de carga em diferentes geometrias.

Compreender o conceito de fluxo elétrico relacionando-o ao campo elétrico. Analisar o comportamento do fluxo elétrico em uma superfície fechada. Aplicar a Lei de Gauss para o cálculo da carga contida em uma superfície fechada.

Este produto está estruturado na forma de um Plano de Unidade, que apresenta o conteúdo fazendo uso de recursos, tais como um simulador, atividades teórico-práticas, resolução de problemas, trazendo conceitos científicos aplicados aos fenômenos físicos manifestados na vivência do cotidiano do educando.

2. TÓPICOS DE CONTEÚDOS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Tópico 1: Eletricidade, Carga elétrica: história, modelo atômico e propriedades.

Objetivos específicos: introduzir ao aluno uma discussão, a fim de diagnosticar conceitos básicos de eletricidade através de um questionário inicial escrito, como também uma discussão oral a fim de proporcionar um debate inicial sobre o tema, com o objetivo de explorar os conhecimentos prévios trazidos pelos alunos e, a partir desse levantamento, iniciar a problematização do conteúdo. Explicar a origem da teoria elétrica; relacionar o modelo atômico com certas propriedades elétricas; identificar algumas propriedades das cargas elétricas (positivas e negativas); reconhecer as que existem no interior do átomo e relacioná-las a fenômenos elétricos; saber a diferença entre um objeto eletricamente neutro, negativamente ou positivamente carregado e o que é falta ou excesso de cargas; esclarecer o significado de cada variável e a unidade de medida de carga elétrica no Sistema Internacional de Unidades de Medidas (SI), seus múltiplos e submúltiplos.

Tópico 2: Condutores e isolantes. Processos de eletrização.

Objetivos específicos: Classificar os materiais isolantes, condutores, semicondutores e supercondutores elétricos, identificando a origem dessa diferença de forma que o aluno compreenda e seja capaz de identificá-lo em diversas situações do cotidiano. Comparar e diferenciar os processos de eletrização por atrito, contato e indução; associar os processos de eletrização à ocorrência de raios, relâmpagos e trovões; saber o que significa “isolar eletricamente” e “aterrar” um objeto; compreender a importância do para-raios.

Tópico 3: Força elétrica.

Objetivos específicos: Caracterizar a força elétrica em módulo, direção e sentido, relacionando às quantidade de carga das partículas envolvidas e a distância entre as mesmas; compreender a lei de atração e repulsão de cargas elétricas; aplicar o princípio da superposição para determinar a força gerada por uma distribuição qualquer de cargas; comparar a força elétrica com a força gravitacional, identificando semelhanças e diferenças; entender que a Lei de Coulomb pode ser

aplicada a qualquer distribuição de cargas contínuas.

Tópico 4: Campo elétrico.

Objetivos específicos: Diferenciar campo elétrico de carga elétrica; calcular campo elétrico gerado por uma carga puntiforme e por outras distribuições de carga em diferentes geometrias; distribuição em uma única reta e em um único plano; analisar o campo elétrico na superfície e no interior de um condutor; reconhecer o efeito de blindagem eletrostática; reconhecer as propriedades do campo elétrico uniforme e identificar métodos para sua obtenção. Apresentação e uso do simulador *Schanpsidee* utilizado na determinação da força elétrica e do campo elétrico gerados por distribuições contínuas de cargas.

Tópico 5: Lei de Gauss.

Objetivos específicos: Descrever matematicamente o fluxo elétrico em uma superfície aberta; representar o campo elétrico por meio das linhas de campo; Identificar a Lei de Gauss como uma das equações de Maxwell. Compreender o conceito de fluxo elétrico relacionando-o ao campo elétrico. Analisar o comportamento do fluxo elétrico em uma superfície fechada. Aplicar a Lei de Gauss para o cálculo da carga contida em uma superfície fechada.

Tópico 6: Considerações finais a respeito do questionário inicial.

Objetivos específicos: dialogar com os alunos sobre os principais conceitos envolvidos através de um questionário final, relacionando com o questionário inicial, com o intuito de avaliar a apropriação dos conceitos científicos trabalhados durante os encontros e verificar a existência de possíveis imprecisões que mereçam atenção.

3. PRÁTICA SOCIAL INICIAL

Pré-Requisitos: os conteúdos necessários para a compreensão de todas as atividades que serão desenvolvidas vêm ao encontro dos conhecimentos físicos em eletricidade, as medidas de prevenção de acidentes com eletricidade, como proceder em dias de tempestade, fundamentado nos conceitos de modelos atômicos, nas teorias e aplicações da eletricidade escrever matematicamente a Lei de Coulomb e Lei de Gauss, do conhecimento básico (os mais comuns) aos mais especializados que se apresentam em nosso cotidiano.

Quais prováveis conhecimentos prévios dos alunos? Aplicações práticas da eletricidade; a importância do fio terra nos aparelhos elétricos; a utilidade do para-raios; formas de produzir e de consumir energia elétrica; explicar fenômenos elétricos naturais, as diversas utilidades da eletricidade e os riscos a ela associados; medidas de prevenção de acidentes com eletricidade; materiais condutores e isolantes; entender que a energia elétrica pode ser obtida a partir de diferentes recursos naturais e conhecer os prejuízos que as grandes usinas hidrelétricas causam para o meio ambiente.

Curiosidades que os alunos podem apresentar: Por que os pelos são atraídos pelas telas de TV ou computadores? E por que isso não acontece nas telas de LCD? Por que é comum levar choque em ambientes com ar-condicionado? Por que as crianças, ao brincar em escorregadores plásticos, levam choques? Como solucionar o uso de celulares pelos detentos nos presídios? Onde podemos nos abrigar com segurança durante uma tempestade?

4. PROBLEMATIZAÇÃO

Dimensões do conteúdo a serem trabalhados:

Conceitual/Científica: O que é eletrostática? Qual a definição da forma matemática que relaciona a atração e a repulsão entre cargas elétricas? Como a matéria é constituída? Como descrever um material condutor e isolante? Como descrever um corpo eletrizado positivamente ou negativamente? Como descrever se um corpo está com falta ou excesso de elétrons? Qual o valor da carga elementar? Como é a relação entre a força elétrica e a força gravitacional? O que é trovão, raio e relâmpago? Por que a luz chega antes do som?

Histórica: Qual a importância do cientista Charles Augustin de Coulomb para o estudo da mecânica e da eletricidade? De onde surgiu esse nome? Em que época data esses estudos? Quais observações experimentais deram início aos estudos sobre a eletrostática?

Social: Qual a importância das usinas geradoras de eletricidade? Por que são necessárias as campanhas de prevenção de acidentes envolvendo as redes elétricas? Qual a utilidade do para raios? Por que os fios não podem estar desencapados?

5. INSTRUMENTALIZAÇÃO

Tópico 1: Eletricidade.

Dimensões: Conceitual/Científica, Histórica e Social.

Inicia-se o primeiro encontro com um questionário inicial, fazendo um levantamento do conhecimento prévio apresentado pelos alunos sobre o tema. Na sequência, discutir-se-á as respostas do questionário e após esse momento, será iniciado ao plano de unidade de conteúdo com uma revisão dos conceitos que fundamentam a eletrostática, relacionando as aplicações da eletricidade com os conceitos apresentados pelos estudantes, utilizando como base, livros didáticos, textos relacionados ao tema, imagens e vídeos. Em seguida será apresentado um vídeo sobre raio, relâmpagos e trovões disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=EjINfH5z08w>, que será devidamente contextualizado em uma exposição oral dialogada do professor.

Dando sequência, debater-se-á a dimensão histórica do conteúdo de carga elétrica, modelos atômicos, dando ênfase à estrutura atômica que é constituída por três partículas elementares: elétrons (cargas negativas), prótons (cargas positivas) e nêutrons (sem carga), permitindo dessa forma avaliar se um corpo está carregado positivamente ou negativamente, discutindo o conceito de carga elétrica elementar, relacionando elementos do cotidiano dos estudantes através de texto e imagens ilustrativas. Para facilitar a compreensão da ação da força elétrica sobre corpos eletrizados, será desenvolvido junto com os alunos atividades práticas qualitativas sobre a Lei de Coulomb, verificando os efeitos de atração (cargas diferentes atraem-se) e repulsão (cargas semelhantes repelem-se). Para esse encontro será utilizado conversação dialogada e também para o desenvolvimento atividades, textos impressos, lista de exercícios, além do quadro de giz.

Tópico 2: Condutores e isolantes.

Dimensões: Conceitual e Científica.

Neste segundo encontro serão utilizados materiais que fazem parte do cotidiano do educando, para que, a partir de atividades experimentais, os estudantes possam diferenciar o comportamento dos materiais condutores e isolantes conforme mostrado na experiência. Visando aprofundar os estudos de diferentes materiais,

neste mesmo encontro, serão realizados experimentos de eletrização, relacionando os resultados com os apontamentos obtidos a partir da série triboelétrica de diferentes materiais. Para tanto, utilizaremos livros, material impresso, diferentes tipos de materiais - condutores e isolantes - laboratório de Ciências, celulares para filmagem do experimento, data show, quadro e giz.

5.1 Processos de eletrização.

Na sequência do segundo encontro, será retomado os conceitos abordados no encontro anterior. Em seguida, iniciar-se-á o conteúdo de processos de eletrização, abordando e resgatando conceitos do cotidiano através de texto e imagens ilustrativas. Também serão desenvolvidas junto com os alunos atividades teórico-práticas sobre os três processos de eletrização, permitindo dessa forma observar o desenvolvimento e compreensão dos conceitos aplicados. Neste encontro será utilizado o laboratório de Ciências para o desenvolvimento das atividades teórico-práticas, além de materiais como Tv multimídia, bancada de apoio para experimentos, quadro e giz.

Tópico 3: Força elétrica

Dimensões: Conceitual e Científica.

A partir de uma rápida revisão dos conceitos trabalhados, o terceiro encontro será iniciado, apresentando e discutindo o conceito de força elétrica a partir da Lei de Coulomb. Neste cenário, será atribuída mais ênfase as discussões envolvendo o conteúdo vetorial associado à grandeza Força (módulo, direção e sentido), relacionando à carga de partículas com a distância entre elas. Será discutida a similaridade entre a forma matemática da Lei de Coulomb e da Lei da Gravitação, respeitando as devidas diferenças entre seus valores e a natureza das interações elétricas e gravitacionais (atração e repulsão). Serão tratados exemplos envolvendo o princípio da superposição para determinar a força gerada por uma distribuição qualquer de cargas pontuais, relacionando esses conteúdos com a Terceira Lei de Newton, ressaltando que a Lei de Coulomb é aplicável a cargas pontuais e aos objetos carregados que podem ser tratados como partículas pontuais.

Não menos importante, serão discutidas as constantes e as unidades de medida em diferentes sistemas de unidade de medida de todas as grandezas físicas

envolvidas no assunto, considerando especialmente a quantização da carga elementar associada ao próton ou ao elétron. Para esse encontro será utilizado conversação dialogada e também para o desenvolvimento atividades, textos impressos, lista de exercícios, além do quadro de giz.

Tópico 4: Campo elétrico.

Dimensões: Conceitual e Científica.

Nesse quarto encontro, inicialmente serão retomados os conceitos aplicados nos encontros anteriores, para então utilizarmos a representação do campo elétrico por meio das linhas de campo geradas por cargas positivas e negativas. Será tratado de problemas envolvendo o cálculo do campo elétrico (grandeza vetorial) gerado por uma carga puntiforme e por outras distribuições de carga pontuais, o campo elétrico na superfície e no interior de um condutor, o efeito de blindagem eletrostática, bem como as propriedades do campo elétrico uniforme. Para esse encontro será utilizado conversação dialogada e também para o desenvolvimento atividades, textos impressos, lista de exercícios, além do quadro de giz. Será apresentado e usado o simulador *Schanpsidee* utilizado na determinação da força elétrica e do campo elétrico gerados por distribuições contínuas de cargas utilizando o laboratório de informática.

Tópico 5: Lei de Gauss.

Dimensões: Conceitual e Científica.

Neste quinto encontro será também descrito matematicamente o fluxo elétrico em uma superfície aberta. Demonstrado a Lei de Gauss como uma das equações de Maxwell. Compreender o conceito de fluxo elétrico relacionando-o ao campo elétrico. Analisar o comportamento do fluxo elétrico em uma superfície fechada. Aplicar a Lei de Gauss para o cálculo da carga contida em uma superfície fechada. Para esse encontro será utilizado conversação dialogada e também para o desenvolvimento atividades, textos impressos, lista de exercícios, além do quadro de giz.

Tópico 6: Considerações finais a respeito do questionário inicial.

Dimensões: Conceitual e Científica.

Nesse sexto encontro, inicialmente serão retomados os conceitos aplicados

nos encontros anteriores, para então utilizar como fechamento um questionário final, sendo o mesmo questionário inicial, onde usamos a avaliação diagnóstica, as avaliações intermediárias que são avaliações formativas, acrescido de algumas perguntas expressando a opinião dos alunos sobre as aulas juntamente com exposição oral dialogada da professora a respeito dos resultados obtidos, juntamente com o questionário final que vem acrescentar na forma de avaliação somativa. A avaliação deverá ocorrer ao longo de todo o processo de ensino-aprendizagem. Neste encontro será utilizado material impresso.

6. CATARSE

Expressão da síntese: apontamentos e discussões orais sobre o questionário inicial e final com os estudantes no decorrer das aulas, bem como as resoluções por escrito de exercício. A avaliação deverá ocorrer ao longo de todo o processo de ensino-aprendizagem, com avaliações objetivas, intermediárias (formativas) e também a avaliação somativa, que serão apresentadas no decorrer dos tópicos.

Síntese do aluno: considerando que os conceitos abordados neste plano de unidade são pouco trabalhados com os alunos de Ensino Médio, esperamos que ao final de todas as atividades desenvolvidas e de suas discussões os alunos compreendam os conteúdos descritos nos tópicos que seguem.

6.1 TÓPICO 1: ELETRICIDADE E SUA ORIGEM.

Previsão de duração: 2 horas/aula.

Este tópico deverá ser iniciado a partir do questionário inicial, que será respondido pelos alunos e segue em anexo, sendo que servirá de ponto de partida para o desenvolvimento do conteúdo apresentado neste plano de unidade. Depois de ser respondido, o questionário inicial será discutido e aprofundado na forma de um debate, que será iniciado a partir da observação da Figura 1 e norteado por algumas perguntas relacionadas ao tema.

Figura 27: Descargas elétricas em uma tempestade³.



Debate inicial

- Observando a fotografia acima, onde se origina e onde termina o raio?
- Quais são as condições climáticas favoráveis à ocorrência de raios?
- Explique a diferença entre raios e trovões.
- Em geral, qual é percebido primeiro: o relâmpago ou o trovão?
- Que procedimentos as pessoas devem tomar para se proteger de raios durante uma tempestade?

Com o objetivo de aprofundar os conceitos científicos envolvidos no debate, propomos a apresentação de um vídeo sobre raios, relâmpagos e trovões disponível

³<https://www.google.com.br/search?q=imagem+de+eletricidade&tbm=isch&source=hp&sa=X&ved=2ahUKewi7IPImeXiAhU6H7kGHYKVAvUQ7Al6BAgHEBs&biw=1242&bih=597#imggrc=iH5NeFi5Le-xUM>: acessado em 12/06/19

em: <https://www.youtube.com/watch?v=EjINfH5z08we> na sequência será conduzida uma exposição oral dialogada do professor sobre esse vídeo. Abaixo apresentamos algumas curiosidades sobre a natureza dos raios e trovões.

O movimento de cargas elétricas, que forma a descarga elétrica de grande intensidade, que ocorre na atmosfera entre nuvens ou entre nuvens e a terra recebe o nome de Raio. Essas descargas podem ter sentidos para cima (da terra para a nuvem) ou para baixo (da nuvem para a terra), sendo este último o mais comum. Sempre que um raio ocorre em uma região do espaço, também ocorre o Trovão, caracterizado pelo estrondo sonoro resultante da expansão violenta do ar decorrente do aquecimento local gerado pela passagem das cargas elétricas.

Um trovão, apesar de amedrontar, não causa nenhum dano às pessoas, a menos que a pessoa estiver muito próxima do local de queda do raio. Neste caso, o deslocamento de ar gerado pelo raio pode arremessar a vítima contra um objeto, como uma árvore ou uma parede, e também causar alguns danos à audição, ou também pode quebrar vidros e demais superfícies sensíveis.

As condições necessárias para a ocorrência de raios serão estudadas nos próximos tópicos, a partir do estudo da grandeza Campo Elétrico, que dentre outras coisas, define o limite de isolamento para o movimento de cargas elétricas em um material qualquer, também conhecido como Rigidez Dielétrica.

Figura 28: Raios em um vulcão.



Vulcões e tempestades de areia também podem gerar raios?

Sim, durante a erupção de um vulcão ou em uma tempestade de areia, as partículas de poeira podem perder ou ganhar cargas elétricas em função do atrito. Quando o acúmulo de cargas elétricas é demasiadamente grande, podem ocorrer descargas, que costumam ser menos intensas do que a de uma tempestade, gerando relâmpagos e entrar em contato com o solo, criando raios.

Fonte: <http://g1.globo.com/natureza/noticia/2015/10/patagonia-tem-erupcao-vulcanica-com-tempestade-de-raios.html>: acessado em 20/10/2019.

O Brasil é o país com maior incidência de raios no mundo!

As condições mais favoráveis para a ocorrência de raios são encontradas em locais de clima tropical. Neste contexto a cidade que mais recebe raios no mundo é Kifuka, na República Democrática do Congo. No entanto, em função da extensão territorial do Brasil, o nosso país é considerado o campeão mundial na incidência de raios (cerca de 57,8 milhões de ocorrências por ano). Outros fatores – o aquecimento global e a urbanização - contribuem para aumentar esses dados.

De acordo com o trabalho de Saba (2001), a temperatura é superior a cinco vezes a temperatura da superfície solar, ou seja, a 30.000 graus Celsius. Quando um raio atinge e penetra solos arenosos a sua alta temperatura derrete a areia, transformando-a em uma espécie de tubo de vidro chamado fulgurito. O autor aponta ainda que as energias envolvidas em um raio se manifestam na forma de energia elétrica, calor, luz, som e ondas eletromagnéticas, podendo gastar em média 300 kWh, ou seja, aproximadamente igual à de uma lâmpada de 100 W acesa durante apenas quatro meses, com duração típica de milésimos de segundos.

Figura 29: Cristo Redentor sendo atingido por um raio



Fonte: <https://www.meionorte.com/curiosidades/7-coisas-que-voce-provavelmente-nao-sabia-sobre-o-cristo-redentor-372167/slide/6246>: acessado em 20/10/2019

Existe um mito envolvido na cultura popular, de que um raio não cai duas vezes no mesmo lugar, no entanto, por meio dos monitoramentos essa afirmação foi desacreditada, sendo que o monumento do Cristo Redentor, localizado na cidade do Rio de Janeiro, é atingido em média por 6 raios a cada ano.

Uma estimativa interessante que pode ser realizada é a distância entre você e o ponto de ocorrência do raio. A partir da medida do tempo decorrido entre a

descarga elétrica que forma o raio (clarão) e o trovão (estruído), t ,

considerando que a velocidade do som, v_s , é de 340 m/s (muito menor que a velocidade da luz no ar), utilizando os conceitos de cinemática (MRU), podemos estimar que a distância x , entre o ouvinte e o ponto de ocorrência do raio é dada pela multiplicação do tempo pela velocidade do som, conforme descrito na equação 1:

$$x = v_s t \quad (1)$$

Apesar de imponentes e fascinantes, os raios apresentam riscos as pessoas e animais desprotegidos durante as tempestades. A permanência em lugares abertos e descampados, próximos de árvores ou de construções metálicas elevadas, podem aumentar os riscos de acidentes envolvendo raios. Isso ocorre porque as cargas elétricas tendem a minimizar a energia gasta durante o seu movimento (formando a descarga elétrica – o raio), e por tanto, normalmente o raio percorre o menor caminho entre a terra e a nuvem, atingindo com mais frequência pontos mais elevados. Este é o princípio de funcionamento dos Para-Raios, ou seja, oferecer um caminho mais curto (menos resistivo) para os raios fluírem.

Mais adiante, nos próximos tópicos, aumentaremos nossa compreensão sobre o assunto, permitindo dessa forma que você entenda o porquê se abrigar dentro de um carro, de uma casa ou de um avião minimizam os riscos de acidentes envolvendo raios. Para isso, precisamos que você compreenda com mais profundidade a natureza da carga elétrica, bem como seu comportamento em diferentes materiais.

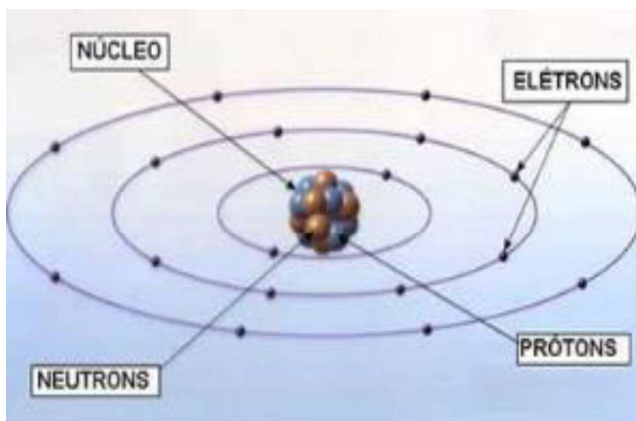
Os conceitos relacionados à carga elétrica estão intimamente relacionados à natureza constituinte da matéria, cuja tentativa inicial de modelagem data do século IV a.C., na Grécia antiga, a partir das ideias de Leucipo e Demócrito, que instituíram o conceito de átomo, ou seja, menor porção divisível de matéria.

Desde então um grande intervalo de tempo se sucedeu até que em 1808, Dalton, observando trabalhos de Lavoisier, propôs um modelo atômico mais evoluído, no qual cada elemento químico era composto por um grupo de átomos

idênticos entre si, que os mesmos seriam indivisíveis e indestrutíveis, com forma esférica. Até então não havia nenhuma relação entre o átomo e as cargas elétricas, sendo que apenas em 1897, Thomson propôs um modelo que previa sua existência.

Conforme este modelo, o átomo seria formado por uma matéria de carga majoritariamente positiva, na qual os elétrons estariam distribuídos homogeneamente ao longo de todo o seu volume, de uma forma análoga à de um pudim de passas. Esse modelo permitiu grandes avanços na compreensão de efeitos de origem elétrica relacionados à matéria, assim como contribuiu nos estudos da interação entre a radiação e a matéria, porém em um curto intervalo de tempo, no ano de 1913, este modelo foi substituído por outro mais complexo, chamado de modelo de Bohr, em homenagem ao seu desenvolvedor, Niels Bohr.

Figura 30: Representação do modelo atômico de Bohr



Fonte:

<http://n.i.uol.com.br/licaodecasa/ensmedio/fisica/nunquan1.jpg>, acessado em: 20/10/2019.

Baseados nos estudos de Rutherford, que propôs o primeiro modelo que previa a existência de um núcleo compacto e muito denso de cargas positivas, os prótons, e também os nêutrons com carga nula, sendo que os elétrons (cargas negativas) orbitam uma vasta região em volta do núcleo, Bohr propôs um modelo no qual postulou que os elétrons ocupavam órbitas estáveis, circulares, de energia e raios

quantizados, ou seja, múltiplos inteiros de um valor. Uma analogia

possível ocorre entre o modelo de Bohr e um modelo planetário, onde o núcleo (sol) é composto por cargas positivas (prótons) e nêutrons, a eletrosfera define a região ocupada pelas orbitas circulares dos elétrons (planetas) de carga negativa.

Como as cargas negativas (elétrons) ocupam as posições mais externas dos átomos, sempre que houver trocas de cargas de um corpo para outro, ela ocorrerá em função da transferência de elétrons. Cabe destacar que a unidade de medida de carga elétrica no SI é o Coulomb (C).

Quadro 37: Carga elétrica das partículas subatômicas.

Nome	Símbolo	Carga elétrica (Coulomb)
Próton	p^+	$1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Elétron	e^-	$-1,602 \times 10^{-19} \text{ C}$
Nêutron	N	0 C

Fonte: Autoria Própria (2019)

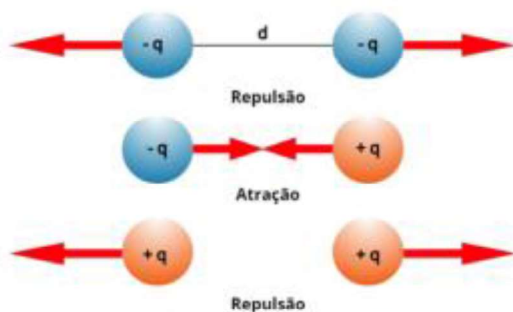
Um corpo é dito como neutro se o número de elétrons for igual ao número de prótons, já que a carga associada ao dois é igual em módulo, conforme descrito no quadro 1. Por outro lado, quando um corpo possui excesso de elétrons, dizemos que ele está eletrizado negativamente e quando possui mais prótons que elétrons, dizemos que está eletrizado positivamente. Cabe destacar que a carga sempre será medida em termos de múltiplos inteiros do valor da carga do elétron, ou seja, dizemos que a carga é quantizada, e que não podemos criar ou destruir a carga elétrica, podemos apenas transferi-la de um corpo para outro em quantidades inteiras do número de elétrons.

Diferente de outras unidades de medida como o metro ou o segundo, o Coulomb é uma unidade significativamente grande, e por esse motivo, comumente são utilizados prefixos de unidade com objetivo de alterar sua ordem de grandeza. Abaixo segue o Quadro 2, no qual seguem os prefixos frequentemente encontrados na literatura científica.

Quadro 38: Ordens de grandeza da carga elétrica.

Submúltiplos	Símbolo	Valor
Milicoulomb	mC	10^{-3} C
Microcoulomb	μC	10^{-6} C
Nanocoulomb	nC	10^{-9} C
Picocoulomb	pC	10^{-12} C
Fentocoulomb	fC	10^{-15} C

Fonte: Autoria Própria (2019)

Figura 31: Interação entre cargas elétricas

Fonte: <https://brasilecola.uol.com.br/fisica/ei-coulomb.htm>. acessado em 20/10/2019.

Uma propriedade interessante das cargas elétricas é a capacidade de se atraírem mutuamente ou repelirem. A *Lei de Dufay* define que cargas com sinais iguais interagem por meio de uma força e se repelem mutuamente. Ao contrário, cargas com sinais opostos se atraem, conforme destacado na Figura 5.

Cabe destacar que o tempo

envolvido em uma troca de cargas de um corpo para outro normalmente é curto, e sendo assim, um corpo que recebe cargas elétricas rapidamente atinge o equilíbrio eletrostático, que define a condição onde o movimento de cargas é cessado. Abaixo seguem alguns exercícios nos quais os alunos poderão testar sua compreensão sobre o assunto.

Exercícios propostos

1.1) Sabe-se que a velocidade do som no ar é de 340 m/s e que a da luz é de 300.000 km/s (ou 300 000 000 m/s = 3.108 m/s). Para estimar a que distância estão da chuva, os escoteiros medem o intervalo de tempo entre os relâmpagos e os trovões, e multiplicam esse valor por 0,34 para obter a distância em quilômetro. Por que eles calculam desse modo?

1.2) Incide-se um feixe de luz ultravioleta em uma placa metálica inicialmente neutra. Durante o processo são ajeitados $6,25 \times 10^{10}$ elétrons. Determine a quantidade de carga da placa no final do processo.

1.3) Dois corpos eletricamente isolados apresentam as cargas $Q_1 = -5\mu\text{C}$ e

$Q_2 = 8\mu\text{C}$. Após troca de cargas entre eles, o corpo 1 adquire o dobro de carga do corpo 2. Determine a carga de cada corpo depois da troca.

1.4) Classifique as afirmações de cada item como verdadeiras ou falsas e reescreva as falsas, corrigindo-as.

a) Nas trocas de cargas entre corpos, as partículas transferidas são os prótons.

b) Em um corpo eletrizado negativamente, o número de prótons é menor que o número de elétrons.

c) Em um corpo neutro, o número de cargas negativas é igual ao número de cargas positivas.

d) Nas trocas de carga entre os corpos, as partículas transferidas são os elétrons.

e) Em um sistema fechado é possível aumentar ou diminuir a quantidade de cargas sem que haja quaisquer trocas de cargas com sistemas externos.

f) Todas as vezes que for dito que um corpo está eletrizado negativamente, pode-se concluir que não há nenhuma carga positiva nele.

1.5) (ENEM-MEC) O poder das pontas é uma consequência da forma como as partículas portadoras de carga elétrica se distribuem na superfície de um condutor. Em um dado condutor carregado, em equilíbrio eletrostático, pode-se afirmar que, em relação ao restante da superfície, nas pontas:



a) a quantidade e a densidade de cargas são sempre maiores.

b) a quantidade e a densidade de cargas são sempre menores.

c) a quantidade e a densidade de cargas são sempre iguais.

d) a quantidade de cargas é sempre menor, mas a densidade de cargas é sempre maior.

e) a quantidade de cargas é sempre maior, mas a densidade de cargas é sempre menor.

6.2 TÓPICO 2: CONDUTORES E ISOLANTES.

Previsão de duração: 2 horas/aula.

Este tópico deverá ser iniciado a partir de uma breve discussão acerca do tópico anterior, para que então possamos aprofundar os conceitos relacionados ao comportamento elétrico de diferentes classes de materiais, assim como, demonstrar maneiras de como transferir a carga elétrica de um corpo para outro. Para tanto, usaremos atividades teórico-práticas desenvolvidas a partir de materiais de baixo custo, a fim de envolver os alunos na análise de problemas do seu cotidiano. Para entendermos melhor o propósito de cada atividade desenvolvida ao longo deste tópico, apresentaremos na sequência o conteúdo teórico necessário para a compreensão das mesmas.

Cargas elétricas exibem um comportamento que depende da natureza dos materiais nos quais elas estão imersas. Considerando as diferentes propriedades elétricas atribuídas aos materiais, julgamos apropriado iniciarmos as discussões de quatro classes de materiais; os condutores, os isolantes, os semicondutores e os supercondutores.

Condutores: exibem a característica de permitir, com facilidade, o movimento dos portadores de cargas (elétrons, átomos ou moléculas ionizadas) ao longo de sua extensão. Essa classe de materiais compreende os metais, o grafite, soluções eletrolíticas, gases ionizados, o corpo humano, a superfície da Terra, a água mineral, entre outros. Uma consequência direta do movimento das cargas elétricas nestes materiais implica que a carga, em excesso, se repelirá e ocupará as regiões mais distantes possíveis, populando dessa maneira a superfície externa desses materiais.

Figura 32: Exemplos de materiais condutores



Fonte: <https://engenhariadeelite.wordpress.com/metais/>, acessado em 20/10/2019.

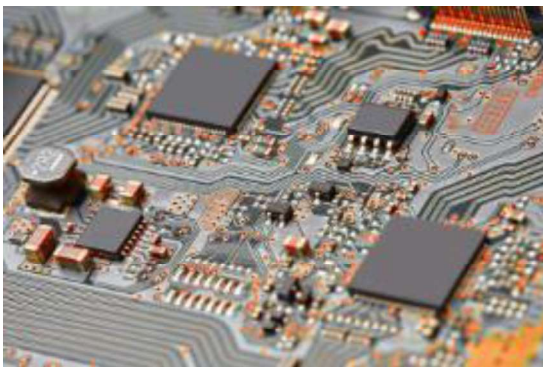
Isolantes: Também conhecidos como não condutores definem a classe de materiais que não permitem o movimento de elétrons em suas estruturas, como por exemplo, a borracha, a madeira, a água pura (H₂O), o vidro, o papel, o ar seco, a lã, a parafina, o plástico, entre outros.

Figura 33: Exemplos de materiais isolantes elétricos comercialmente disponíveis.



Fonte: https://pt.made-in-china.com/co_sichuandongfang/product_Dongfang-Electrical-Insulating-Materials_esouhshny.html, acesso dia 20/10/2019.

Figura 34: Circuito eletrônico apresentando aplicação dos dispositivos semicondutores.



Fonte:

<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/condutores-isolantes.htm>, acesso dia 20/10/2019.

Outra classe de materiais de extrema importância, e que não se enquadram em nenhum dos dois grupos apresentados anteriormente, é definida pelos semicondutores.

Essa classe de materiais é caracterizada por apresentar propriedades intermediárias, ou seja, dependendo da *diferença de potencial*⁴ aplicada pela fonte, o dispositivo semiconductor pode se comportar como condutor ou como isolante (no regime de baixa diferença de potencial se comporta como isolante e aumentando

a diferença de potencial passa a conduzir).

⁴ A diferença de potencial será estudada melhor em breve, e podemos associá-la com a grandeza física responsável pelo movimento de cargas elétricas.

Os principais elementos que compõe essa classe de materiais são o germânio e o silício, que são empregados na indústria para produzir componentes eletrônicos como os mostrados na Figura 8, dentre os quais destacam-se os diodos, transistores, leds, chips, processadores, memórias dentre outros dispositivos. Esses dispositivos viabilizaram a construção de microcomputadores com capacidade de processamento cada vez maior, além de aparelhos de rádio, televisão e telefonia mais eficientes e rápidos com melhor qualidade de som e imagem.

Por fim, os supercondutores compreendem a classe de materiais que exibem simultaneamente duas características físicas: resistência elétrica nula e o diamagnetismo perfeito. A primeira característica implica que nestes materiais os elétrons (portadores de cargas elétricas) podem fluir sem resistência alguma, sem que haja nenhum calor sendo gerado nesse processo, ou qualquer outra forma de energia sendo liberada. A segunda propriedade, o diamagnetismo perfeito, também conhecido como Efeito Meissner, é responsável pela exclusão total do campo magnético do seu volume, fazendo com que estes materiais possam ser utilizados em aplicações de levitação magnética como as dos trens de alta velocidade (MAGLEV). Cabe destacar que as propriedades supercondutoras se manifestam apenas abaixo de um limiar de temperatura denominada Temperatura Crítica (T_c).

Figura 35: Levitação magnética a partir de um supercondutor resfriado abaixo de T_c .



Fonte: <http://www.sbfisica.org.br/v1/home/index.php/pt/destaque-em-fisica/109-uma-nova-classificacao-para-supercondutores-nao-convencionais>, acesso dia 20/10/2019.

Infelizmente, a maioria dos materiais deve estar em um estado extremamente baixo de energia (muito frio) para se tornar supercondutor. Ligas metálicas comerciais usadas com a finalidade de gerar altos campos magnéticos, como Nb_3Sn que possui T_c de 18,3 K, necessitam ser refrigerado em banhos criogênicos de Hélio líquido (4,2 K), que possuem um alto custo associado, o que inviabiliza a difusão de suas aplicações para finalidades corriqueiras. Por outro lado, ligas cerâmicas como

$Y_1Ba_2Cu_3O_{7-\delta}$, que possui T_c de 92 K podem operar em banhos criogênicos de Nitrogênio líquido (77 K), que é um insumo mais barato que o Hélio líquido.

Tendo em vista as classes de materiais que apresentam diferentes propriedades elétricas, abaixo segue uma proposta de atividade prática que visa apresentar ao aluno uma maneira – ainda que rudimentar - para diferenciar os materiais condutores e isolantes.

Atividade 1: Classificação elétrica dos materiais.

Nesta atividade os alunos deverão se organizar em pequenos grupos de alunos, e necessitarão de materiais de baixo custo, tais como:

Uma lâmpada de 12 V com suporte para alimentação;

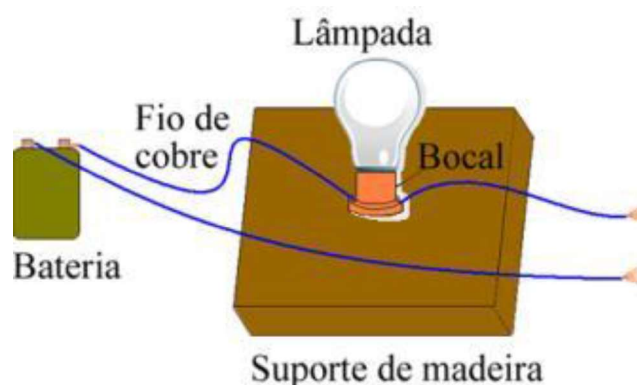
Bateria de 9 ou 12 V;

Fios de cobre;

Diferentes tipos materiais para realizar os testes.

O procedimento de montagem segue indicado na Figura 10, onde um fio de cobre conecta o material a ser testado à um dos pólos da bateria e o pólo oposto é conectado à um dos terminais da lâmpada. Por final, o terminal oposto da lâmpada é ligado ao material que será testado.

Figura 36: Esquema de montagem da atividade prática: Classificando diferentes materiais.



Fonte: <https://s3.static.brasescola.uol.com.br/img/2012/09/experimento-de-condutividade-eletrica.jpg>, acesso dia 20/10/2019.

A análise dessa atividade deve ser encaminhada de maneira qualitativa, ou seja, caso a lâmpada acenda quando o circuito for estabelecido, o material testado possui propriedades condutoras, pois permite o movimento de cargas elétricas. Caso a lâmpada não acenda, o mesmo pode ser considerado isolante. Um cuidado que

deve ser tomado caso a fonte de tensão seja substituída por outra fonte mais robusta está relacionado com o risco de choque elétrico. Por esse motivo que fontes de até 12V oferecem maior segurança para o manuseio por alunos.

Cabe destacar que o teste acima descrito consiste em uma aproximação inicial com o conteúdo descrito, pois dependendo da diferença de potencial da fonte utilizada (quantos volts a fonte aplica), materiais isolantes em regime de baixas tensões (madeira, papel, tecido, ar, dentre outros) podem passar a conduzir quando submetidos a um regime de alta diferença de potencial - linhas de transmissão de alta tensão. Uma maneira prática de entender o significado da grandeza diferença de potencial é dada pela energia associada à carga elétrica, de modo que quanto maior a diferença de potencial, mais energia cada portador de carga possui. Já a corrente elétrica, medida em Ampéres (A), está associada ao movimento ordenado de cargas, de modo que quando maior a corrente elétrica, mais portadores são transportados pelo condutor.

Analisando as condições extremas que definem a eminência do movimento de cargas em materiais isolantes, notamos a importância da grandeza Física campo elétrico, medido em Volts por metro (V/m). Quando um isolante passa a conduzir, normalmente emitindo faíscas, dizemos que o campo elétrico atingiu um limiar crítico denominado de rigidez dielétrica, que para o caso do ar em condições normais de temperatura e pressão vale 3×10^6 V/m.

O campo elétrico e a diferença de potencial dependem da quantidade de carga acumulada em um corpo, e por esse motivo, cuidados para evitar explosões devem ser tomados quando corpos com excesso de cargas elétricas estejam próximos de líquidos inflamáveis, como no caso de caminhões de combustível. Para evitar faíscas provenientes do acúmulo de carga, os caminhões que transportam combustíveis utilizam de mecanismos (normalmente uma corrente metálica presa ao tanque e ao solo), que possibilitam o escoamento das cargas para a terra, diminuindo o risco de explosões.

Considerando os conceitos abordados acima, abaixo seguem alguns exercícios com objetivo de aprimorar o conteúdo dos estudantes.

Exercícios propostos

2.1) Quando um técnico que faz manutenção de computadores vai tocar em algum componente interno do aparelho (que está desligado e desconectado da para,

só então, tocar no componente eletrônico. Caso contrário, há risco de danificar tal componente.

- a) O que poderia danificar o componente
- b) Por que o procedimento adotado pelo técnico evita o dano?

2.2) As três atividades a seguir referem-se à fotografia ao lado tirada durante a transferência de combustível de um caminhão-tanque para o tanque de um avião. Antes de iniciar a transferência e durante todo o processo, a parte metálica do avião é ligada ao solo por meio de uma corrente.

- a) Como se chama o procedimento de ligar um objeto ao solo com um fio condutor?
- b) Que nome se dá ao fio usado para tal fim?
- c) Por que é necessário esse contato da parte metálica do avião como solo durante a transferência do combustível?

2.3) Duas esferas metálicas idênticas inicialmente com $9 \mu\text{C}$ e $-1 \mu\text{C}$ entram em contato elétrico em um breve instante de tempo. Determine a carga de cada uma das esferas depois que o contato elétrico foi cessado.

Resp: $4 \mu\text{C}$.

6.2.1 Processos de eletrização.

De acordo com o que expomos até o momento, entendemos que o acúmulo de cargas elétricas em corpos é responsável por vários fenômenos interessantes. A seguir, descreveremos por meio de atividades teóricas-práticas os processos relacionados com as cargas transferidas de um corpo para outro. O processo de eletrização é caracterizado pela transferência de cargas elétricas de um corpo para o outro, que pode ocorrer de diferentes formas tais como: o atrito, o contato e a indução.

6.2.1.1 Eletrização por atrito

Este processo consiste em friccionar a superfície de dois materiais

diferentes repetidamente. O resultado desse processo é a eletrização de ambos os corpos, cada um com cargas elétricas de sinais contrários, porém sempre com mesmo valor absoluto, ou seja, a carga total (número de elétrons transferidos) sempre é conservada - a carga que um objeto perde o outro ganha. Por exemplo, se atritarmos um pedaço de seda em um pedaço de vidro, a seda arrancará elétrons do vidro e irá absorvê-los, ficando negativa, e o vidro, que perdeu elétrons, ficará positivo.

Por meio de verificações experimentais, podemos determinar o sinal que cada substância adquire quando atritada com outro material, gerando uma tabela que é conhecida como série triboelétrica. Uma versão resumida dessa tabela está indicada na Figura 11, onde os materiais mais acima doam elétrons ficando positivos e os materiais mais abaixo recebem esses elétrons ficando negativos.

Figura 37: Determinação do tipo de carga gerada no processo de eletrização por atrito.

Série Triboelétrica	
Pele humana seca	<p>Positivo</p>   <p>Negativo</p>
Couro	
Pele de coelho	
Vidro	
Cabelo humano	
Fibra sintética (nylon)	
Lã	
Chumbo	
Pele de gato	
Seda	
Alumínio	
Papel	
Algodão	
Aço	
Madeira	
Âmbar	
Borracha dura	
Níquel	
Cobre	
Latão	
Prata	
Ouro	
Platina	
Poliéster	
Isopor	
Filme de PVC	
Poliuretano	
Polipropileno	
Vinil	
Silicone	
Teflon	

Fonte: Modificado do livro *Eletricidade & Magnetismo e Ótica*. Tipler, Mosca (2009)

Com o objetivo de melhorar a compreensão sobre a eletrização por atrito, preparamos algumas atividades teóricas-práticas que podem ser realizadas no laboratório de Ciências ou em sala de aula, preferencialmente dividindo os estudantes em grupos de 3 ou 4 integrantes.

Atividade 2: Atração de materiais isolantes neutros.

Para realizar este experimento necessitaremos de:

Tesoura;

Papel (de caderno);

Papel toalha;

Bastão de vidro;

Pedaço de PVC (costumeiramente usado em forração);

Nesta atividade os alunos, divididos em grupos, deverão inicialmente picar o papel em pequenos pedaços, e, após atritado o bastão de vidro com papel toalha, aproximar a região atritada dos pedaços de papel picado, verificando ao final o que acontece. Na sequência os alunos deverão repetir os passos anteriores trocando o bastão de vidro com o pedaço de PVC.

Esperamos que nesta atividade os pedaços de papel picado sejam atraídos pelo bastão de vidro e também pelo pedaço de PVC. Para facilitar a interpretação da atividade preparamos abaixo algumas questões.

- Quais os sinais das cargas transferidas para o bastão de vidro e para o pedaço de PVC?

- Qual a carga dos pedaços de papel?

- Por que os pedaços de papel são atraídos pelo bastão de vidro e pelo pedaço de PVC?

A partir da discussão das questões acima expostas, os alunos deverão chegar a conclusão de que sempre existirá uma força atrativa entre materiais eletrizados, sejam positiva ou negativamente. Esta força dependerá da distância entre as cargas e também da quantidade de cargas transferida para o bastão e para o PVC. Nesta atividade, embora os pedaços de papel não estejam carregados, em função da proximidade de uma carga A ou B, do bastão ou do PVC respectivamente, as cargas

tendem a se separar –as cargas opostas à A ou B estarão mais próximas - permitindo o aparecimento da força de atração. Esse fenômeno é denominado de polarização e será compreendido com mais detalhes na seção de eletrização por indução.

Atividade 3: A força elétrica: atração e repulsão.

Para realizar este experimento necessitaremos de:

Canudos;

Suporte universal;

Linha comum;

Papel toalha;

Bastão de vidro;

Neste experimento, os alunos organizados em pequenos grupos, deverão amarrar o canudo no suporte universal. Para facilitar essa etapa, o canudo pode ser dobrado ao meio facilitando o equilíbrio conforme indicado na Figura 12.

Em seguida, o bastão de vidro deve ser atritado com papel toalha bem como o canudo pendurado, e então o bastão deverá ser aproximado do canudo pendurado, verificando o que acontece ao

final. Repetir esse procedimento substituindo o bastão por um canudo.

Esta atividade deverá ser discutida e analisada com os alunos de modo a enfatizar a possibilidade de gerar forças de atração e de repulsão. Tendo assegurado aprofundamento das discussões, apresentaremos na sequência outra maneira de transferir cargas elétricas de um corpo para outro.

Figura 38: Esquema de montagem da atividade 3.



Fonte:

<https://s1.static.brasilecola.uol.com.br/img/2014/11/suportes-para-experimento.jpg>, acesso dia 20/10/2019

6.2.2 Eletrização por contato

Neste processo, as cargas elétricas são transferidas de um condutor para outro por meio do contato elétrico. Para compreender melhor essa maneira de transferir cargas elétricas para um corpo, consideramos inicialmente uma esfera B, previamente eletrizada com cargas negativas conforme mostrado na Figura 13. A esfera A, inicialmente neutra, é colocada em contato elétrico com a esfera B, permitindo que elétrons migrem de B para A.

Lembre-se: Na eletrização por contato, os corpos ficam com cargas de mesmo sinal.

Caso as esferas sejam idênticas, de mesmo material, massa e tamanho, a carga da esfera B será dividida em duas porções iguais, sendo que ao final do processo, metade da carga estará em B e metade em A.



Fonte: <https://www.infoescola.com/eletrostatica/eletizacao/>, acesso dia 20/10/2019.

Cabe destacar que este processo também pode ser aplicado quando consideramos a carga inicial sendo positiva. Podemos generalizar a situação, considerando duas esferas iguais, C e D, de mesmo material, cada uma, contendo carga elétrica $Q_A = 5 \mu\text{C}$ e $Q_B = -9 \mu\text{C}$. Depois de estabelecido o contato elétrico entre as duas esferas, $-5 \mu\text{C}$ de B neutralizarão a carga de A. Apenas $-4 \mu\text{C}$ de B serão igualmente distribuídos, restando ao final do processo, $-2 \mu\text{C}$ para cada esfera. Abaixo apresentamos uma proposta de atividade prática, em dupla de alunos, que envolve dentre outros conceitos o de eletrização por contato.

Atividade 4: O cabo de guerra eletrostático.

Para essa atividade serão necessários:

Fita adesiva;

Balão de borracha (bexiga);

Uma lata de alumínio (de refrigerante).

Nesta atividade uma dupla de alunos deverá colar três fitas separadas de meio metro cada, em uma superfície plana. A lata deverá ser colocada na linha central de modo que possa rolar em direção a cada uma das linhas. Cada aluno da dupla receberá uma bexiga que deverá ser inflada e atritada em seus cabelos. Mediante um sinal sonoro, inicia-se a competição, que será vencida pelo aluno que conseguir atrair a lata com maior intensidade, permitindo que ela cruze a linha.

Uma informação importante que os alunos poderão adquirir por meio dessa atividade, está vinculada a proximidade entre a bexiga e a lata, de modo que quanto mais perto da lata, maior será a força gerada, porém se a bexiga tocar a lata, poderá ocorrer a transferência de parte da carga acumulada na bexiga (contato), diminuindo a quantidade de carga disponível para gerar força, prejudicando a performance na competição.

Nesta atividade a lata não possui cargas em excesso (neutra), e mesmo assim é atraída pela bexiga. Como isso é possível?

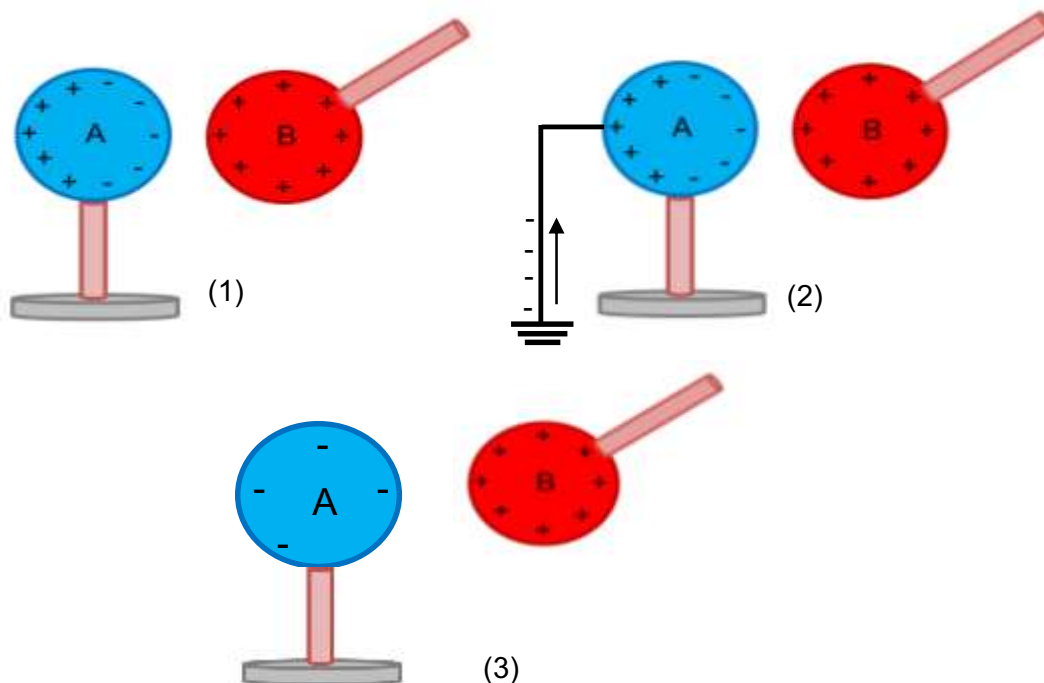
A resposta para essa pergunta será conduzida na seção abaixo.

A explicação para esse fenômeno será encaminhada no próximo tópico.

6.2.3 Eletrização por indução

Outra maneira de transferir cargas para um corpo ocorre por meio do processo de indução. Nele, uma esfera B – chamada de indutor que pode ser condutora ou isolante - previamente eletrizada é aproximada (sem que haja contato) de uma esfera condutora A, neutro, ocorrendo a indução eletrostática, caracterizada pela separação de cargas em A conforme mostrado na Figura 14 (1).

Figura 40: Etapas envolvidas na eletrização por indução. Em (1) o indutor B é aproximado da esfera A, que em (2) está aterrada permitindo que elétrons neutralizem as cargas positivas induzidas, restando apenas cargas negativas

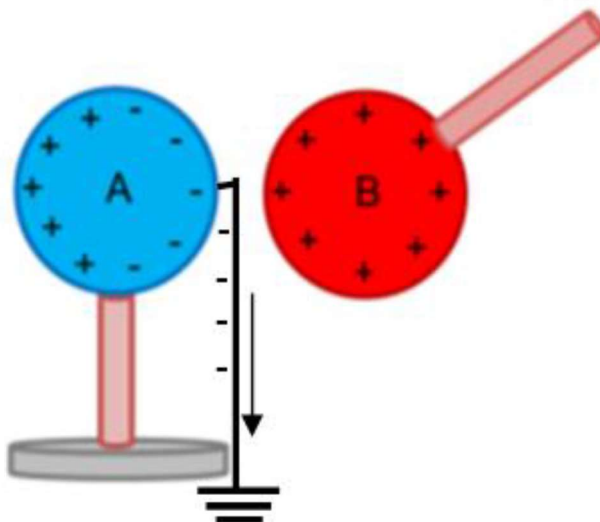


Fonte: Autoria própria

Na figura 14 (2) um fio condutor é ligado a extremidade oposta da esfera A, permitindo que elétrons neutralizem as cargas positivas decorrentes do processo de indução naquela região. Após um breve intervalo de tempo, o fio condutor é removido e apenas então o indutor B é levado para longe de A, permitindo dessa maneira que as cargas negativas da esfera A possam se reorganizar, como mostrado na Figura 14 (3).

É interessante notar que os mesmos passos poderiam ser usados para transferir cargas positivas para a esfera A, no entanto, o ponto de aterramento deve ser alterado, permitindo que as cargas negativas da esfera A, geradas no processo de indução, pudessem escoar pelo condutor para a Terra, restando ao final do processo apenas cargas positivas, como mostrado na Figura 15.

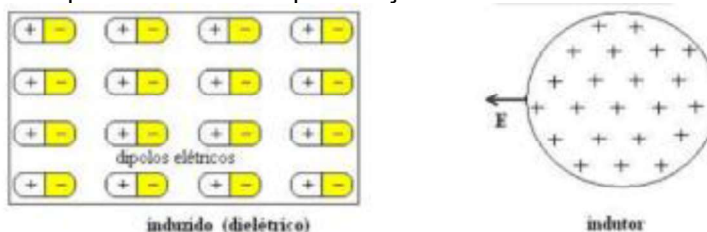
Figura 41: Esquema para eletrização por indução com carga de mesmo sinal do indutor.



Fonte: autoria própria

Cabe destacar que este processo de eletrização baseia-se no princípio de atração e repulsão entre cargas elétricas. Se considerássemos a esfera A composta por um material isolante, como resultado do processo que antes chamamos de indução - neste caso chamamos de polarização - obteríamos o ordenamento das moléculas que compõe o isolante, caracterizado por uma separação espacial das cargas positivas e negativas da molécula, como ilustrado na Figura 16. É interessante notar que no caso da polarização as cargas não se movimentam ao longo da amostra.

Figura 42: Esquema ilustrando a polarização de um material isolante.

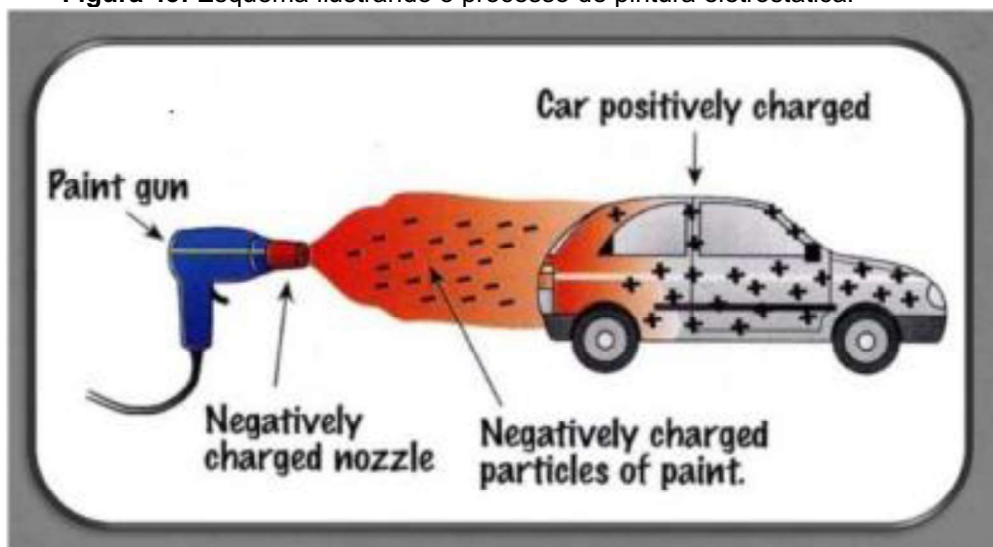


Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/inducaao-eletrstatica/>, acessado 20/11/2019.

Os raios constituem exemplos da manifestação da natureza que podem ser explicados a partir do conceito de indução. Quando uma nuvem está carregada eletricamente, ela induz na superfície terrestre cargas de sinais contrários, criando um campo elétrico entre a nuvem e a superfície. Se o campo elétrico for muito intenso, o ar pode se comportar como um condutor, permitindo a descarga elétrica.

Outro exemplo de eletrização é aplicado na técnica de pintura em pó, também conhecida como pintura eletrostática. Essa forma de pintura ganha destaque pela sua alta resistência, é usada em coberturas de superfícies metálicas e usa o princípio da atração de cargas elétricas para a fixação da tinta. A Figura 17 ilustra a técnica de pintura eletrostática, onde a tinta, isenta de solventes, é eletrizada negativamente por uma pistola, que por sua vez é capaz de dispersá-la homogeneamente sobre uma superfície metálica carregada positivamente, melhorando a fixação da tinta neste processo. Ao final, a pintura necessita ser currada em uma estufa o que melhora as propriedades dessa técnica em relação às demais.

Figura 43: Esquema ilustrando o processo de pintura eletrostática.

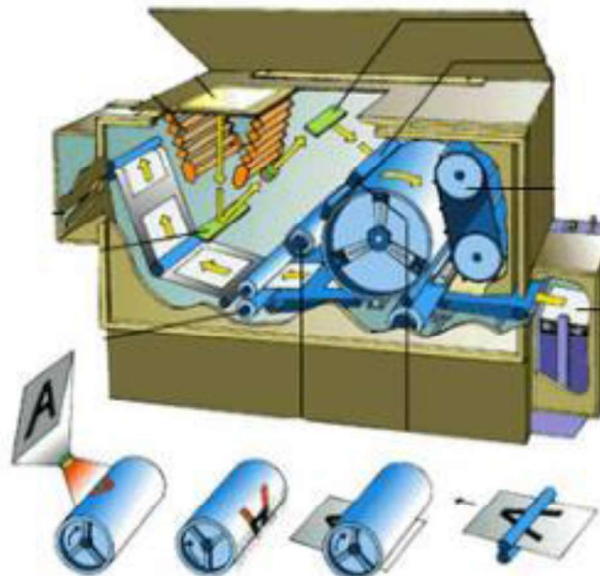


Fonte: <http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/2013/12/16/o-que-e-e-como-funciona-a-pintura-eletrostatica/>, acessado 20/11/2019.

Finalizando, outro uso rotineiro dos fenômenos relacionados à eletrização é aplicado nas máquinas fotocopadoras. Seu princípio de funcionamento está baseado em alguns passos. Inicialmente o documento que será copiado é submetido a uma luz intensa que atravessa as partes brancas do papel e é barrada nas outras partes. A luz que atravessa o papel sensibiliza (descarrega) o cilindro de impressão, fazendo que o toner fique aderido apenas nas partes do cilindro que não receberam a luz. Essa atração ocorre porque o cilindro possuirá cargas positivas nas partes que não foram atingidas pela luz e o toner possui cargas negativas. Na sequência o toner do cilindro é transferido ao papel que está carregado mais intensamente com carga positiva, gerando a nova cópia. Ao final, o papel necessita ser aquecido para que o

toner seja aderido na cópia. A Figura 18 ilustra alguns detalhes do funcionamento de uma máquina fotocopidora.

Figura 44: Ilustração de alguns componentes da máquina fotocopidora.



Fonte: <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/copiadoras-impressoras.htm>, acessado 21/11/2019.

Com o intuito de melhorar a compreensão dos conceitos apresentados acima, indicamos uma atividade voltada para a detecção de cargas elétricas, bem como visualização do fenômeno da indução elétrica.

Atividade 5: O eletroscópio.

Nesta atividade, os alunos organizados em pequenos grupos (4 ou 5 alunos) serão orientados pelo professor a montar e testar um instrumento rudimentar chamado de eletroscópio de folhas. Para tanto serão necessários os seguintes materiais de baixo custo:

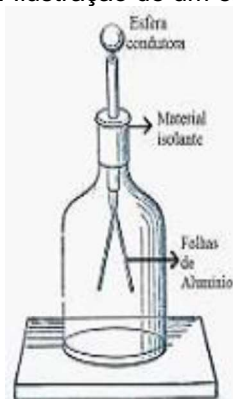
Esfera condutora ou uma bolinha feita de papel de alumínio;

Garrafa transparente ou vidro de conserva;

Duas pequenas tiras de papel alumínio;

Uma haste condutora (fio rígido de cobre), que conecte a esfera às tiras de papel alumínio;

Massa epóxi para isolar a haste condutora da tampa;

Figura 45: Ilustração de um eletroscópio

Fonte: <https://educador.brasilecola.uol.com.br/estrategias-ensino/aula-pratica-construcao-um-eletroscopio-folhas.htm>, acessado em 21/10/2019

Este instrumento consiste basicamente em um tubo que apresenta uma haste condutora com duas folhas metálicas e uma esfera metálica. Quando aproximamos um corpo eletrizado da esfera, cargas são induzidas ao longo de todas as partes condutoras, fazendo com que as folhas metálicas sejam repelidas, demonstrando a existência de carga elétrica no corpo que foi aproximado inicialmente. A Figura 19 mostra detalhes da montagem do eletroscópio.

A partir da análise da tabela triboelétrica, caso atritássemos PVC com um pedaço de papel, o PVC seria eletrizado negativamente. Se aproximarmos esse PVC eletrizado da esfera do eletroscópio, na mesma serão induzidas cargas positivas (de sinal oposta), sendo que as tiras de papel alumínio serão eletrizadas negativamente, resultando na separação de ambas.

Se o PVC se afastar da esfera, o fenômeno da indução deixará de existir, aproximando novamente as tiras de alumínio. Caso o PVC toque a esfera, haverá o contato elétrico e com isso a transferência de cargas, fazendo com que as tiras de alumínio permaneçam afastadas mesmo sem que o PVC esteja próximo.

Abaixo segue algumas questões como sugestão para aprofundamento do conteúdo abordado anteriormente.

Exercícios propostos

2.4) Atrite um pente nos cabelos secos. Abra uma torneira deixando sair um filete de água. Aproxime o pente do filete, sem tocar nele. Descreva o que você

observa e proponha uma explicação para o fenômeno observado.

2.5) Fala-se que certo meio é condutor e outro isolante. Esses meios se comportarão como condutor e isolante em quaisquer circunstâncias? Explique.

2.6) Uma possível medida de segurança para evitar acidentes decorrentes de fenômenos elétricos em caminhões-pipa, é o uso de correntes que funcionam como fio terra, ligando o caminhão ao solo.

a) por que os caminhões que transportam combustíveis possuem, muitas vezes, correntes arrastando no chão?

b) considerando que as cargas resultantes seja positiva, identifique quais cargas se deslocaram pelo fio terra.

c) descreva as possíveis consequências do contato físico entre uma pessoa e o caminhão se ele for desprovido da corrente de segurança.

2.7) Em certo dia uma jovem, as pressas, passa rapidamente um pente no cabelo e percebe que alguns fios ficam rebeldes, isto é, eriçados.

a) se o pente retira cargas negativas dos fios de cabelo, qual é o sinal das cargas excessivas nos cabelos?

b) passar insistentemente o pente os cabelos evitara que eles fiquem eriçados? Justifiquem.

c) existe alguma relação entre o fato descrito e a umidade do ar?

d) em sua opinião qual seria a solução imediata para "baixar" os cabelos da jovem?

e) para evitar que os cabelos fiquem eriçados, a indústria de cosméticos desenvolveu um produto denominado anti-frizz. Explique como pode funcionar esse tipo de creme.

2.8) Ao descer do carro um motorista tomou um pequeno choque no momento em que tocou a porta para fechá-la.

a) Usando seus conhecimentos em eletrostática, explique o choque tomado pelo motorista.

b) Quais foram os processos de eletrização envolvidos no fenômeno descrito anteriormente?

2.9) Descreva como eletrizar um corpo condutor, inicialmente neutro, sem tocá-lo com um corpo eletrizado?

2.10) Com base no funcionamento da máquina fotocopadora:

a) Descreva como ocorre o processo de formação de imagens nessas máquinas.

b) Quais são os processos de eletrização presentes na descrição do funcionamento da máquina fotocopadora

c) Como as pessoas produziam cópias de textos, imagens e documentos antes da invenção da máquina fotocopadora?

2.11) Quais são os processos de eletrização estão envolvidos na técnica de pintura eletrostática?

2.12) Cite exemplos de outros recursos tecnológicos envolvendo a transferência de carga elétrica em sua vida.

6.3 TÓPICO 3: FORÇA ELÉTRICA.

Previsão de duração: 02 horas/aula.

Retomando os conceitos já trabalhados anteriormente, o terceiro tópico será iniciado apresentando e discutindo o conceito de força elétrica a partir da Lei de Coulomb. Para entendermos melhor o conceito de força elétrica, necessitamos inicialmente compreender o conceito de partícula. Neste contexto, partícula define um ponto material, sem dimensão espacial, o qual pode receber uma carga elétrica. Duas partículas carregadas sempre exercerão uma interação - uma sobre a outra - e o resultado dessa interação dará origem a força elétrica.

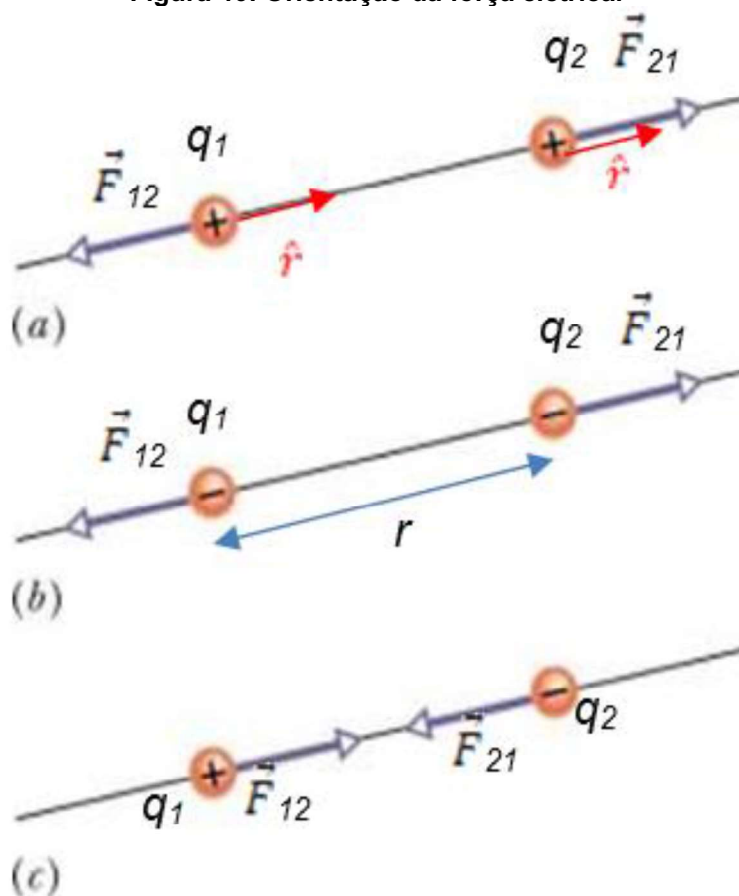
De acordo com Halliday, Resnick, Walker (2009) definem a Lei de Coulomb da seguinte forma: a força elétrica resultante da interação de duas partículas é proporcional ao produto das cargas de cada partícula, e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa cada partícula, conforme descreve a equação 2. Caso as cargas forem de mesmo sinal, a força será repulsiva, e tiverem sinais opostos a força que uma carga exerce sobre a outra será atrativa.

$$\vec{F} = \frac{k \cdot q_1 \cdot q_2}{r^2} \hat{r} \quad (2)$$

Na equação 2, a força elétrica, \vec{F} , é medida em Newtons (N) no SI (Sistema Internacional de Unidades de Medidas), as cargas q_1 e q_2 são medidas em Coulombs (C), a distância r entre as cargas, determinado em metros e k descreve uma constante de proporcionalidade que vale $8,99 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$. A seta acima da grandeza força

(\vec{F}) indica que a mesma é vetorial, ou seja, possui módulo, direção e sentido. A direção e o sentido da força são descritos em função de um vetor unitário \hat{r} , que é adimensional (não possui unidade de medida), e tem módulo igual a 1.

Figura 46: Orientação da força elétrica.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

A Figura 20 ilustra as componentes vetoriais da força elétrica em função do sinal das cargas. Como pudemos observar nas atividades 03 e 04, cargas de mesmos sinais - sejam eles positivos ou negativos – se repelem (Figura 20 (a) e (b)). Se os sinais forem opostos, a força será atrativa (Figura 20 (c)).

Ainda analisando a Figura 20, podemos notar o uso de índices para identificar em qual partícula a força está agindo. Por exemplo, na Figura 20 (a), o termo F_{12} indica que a força está agindo na partícula 1, em função da presença próxima da partícula 2. Nesta notação, o primeiro índice refere-se a partícula sob a qual a força atua, e o segundo índice à partícula próxima que interage, resultando na força.

É interessante notar que:

- Mesmo em situações que as cargas q_1 e q_2 diferirem seu valor numérico, a força F_{12} terá mesma intensidade (módulo) que a força F_{21} .
- A direção das forças F_{12} e F_{21} é dada pela reta que passa sobre as cargas q_1 e q_2 .

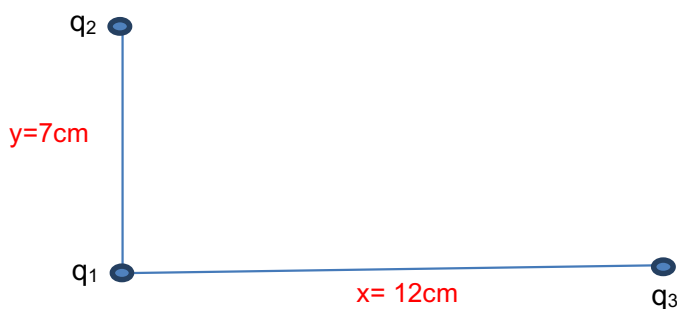
Outra comparação possível de ser realizada é dada entre a força elétrica e a força gravitacional, proposta por Isaac Newton, descrita pela equação 3.

$$\vec{F} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

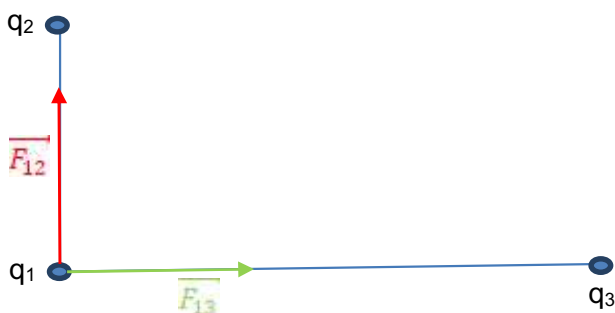
É interessante notar que ambas as forças são dependentes do inverso do quadrado da distância e diretamente proporcionais à carga ou a massa, porém no caso da gravitação, não existirá situações em que a força será repulsiva.

Abaixo seguem alguns exemplos de aplicação da Lei de Coulomb.

Exemplo 3.1) Três partículas estão dispostas conforme a figura abaixo. As partículas possuem cargas $q_1 = -5 \text{ nC}$, $q_2 = 3 \text{ nC}$ e $q_3 = 8 \text{ nC}$. Determine a força elétrica que atua sobre a partícula 1 em função das demais cargas. Dados: $x = 12 \text{ cm}$ e $y = 7 \text{ cm}$.



Para solucionar o problema devemos considerar a interação entre as cargas 1 e 2, gerando a força F_{12} , bem como a interação entre as cargas 1 e 3, gerando F_{13} , conforme segue representado no diagrama abaixo.



Calculando a força F_{12} , temos:

$$|\vec{F}_{12}| = \frac{kq_1q_2}{y^2}$$

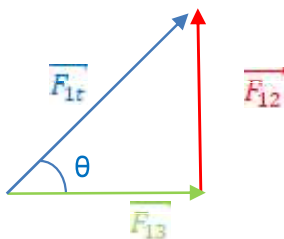
$$|\vec{F}_{12}| = \frac{(8,99 * 10^9)(5 * 10^{-9})(3 * 10^{-9})}{(0,07)^2} = 27,5 * 10^{-6} N$$

Da mesma forma F_{13} , temos:

$$|\vec{F}_{13}| = \frac{kq_1q_3}{x^2}$$

$$|\vec{F}_{13}| = \frac{(8,99 * 10^9)(5 * 10^{-9})(7 * 10^{-9})}{0,12^2} = 25 * 10^{-6} N$$

Para encontrarmos o vetor resultante, F_{1t} , necessitamos efetuar uma soma de dois vetores perpendiculares (que fazem ângulo de 90° entre si). Essa soma pode ser realizada pelo uso do teorema de Pitágoras neste caso, conforme descrito abaixo.



$$|\vec{F}_{1t}|^2 = |\vec{F}_{12}|^2 + |\vec{F}_{13}|^2$$

$$|\vec{F}_{1t}| = \sqrt{(27,5 * 10^{-6})^2 + (25 * 10^{-6})^2}$$

$$|\vec{F}_{1t}| = 37,2 * 10^{-6} N$$

O ângulo θ pode ser calculado por meio da relação trigonométrica tangente, conforme descrito abaixo:

$$\tan(\theta) = \frac{|\vec{F}_{12}|}{|\vec{F}_{13}|}$$

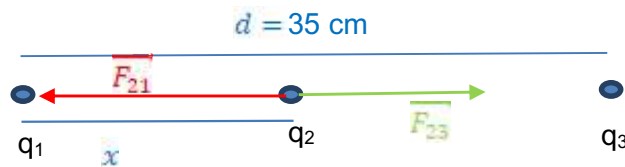
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|27,5 * 10^{-6}|}{|25 * 10^{-6}|}\right)$$

$$\theta = 47,7^\circ$$

É interessante notar que como os vetores não apontam para a mesma direção, a força resultante não será uma simples soma numérica. Como podemos notar, F_{1t} possui projeções que fornecem as componentes das forças F_{12} e F_{13} .

Exemplo 3.2) Este exemplo vai ilustrar uma situação similar àquela descrita pela Atividade 4. Imagine que cada um dos balões se comporte como partícula e possua carga elétrica $q_1 = 4 \mu C$ (na origem) e $q_3 = 9 \mu C$ respectivamente, separados por uma distância de 35 cm. Entre as cargas 1 e 3 é colocada uma carga $q_2 = -5 \mu C$. Determine a posição a partir da origem na qual q_2 permanece em equilíbrio?

Para resolvermos este problema, inicialmente precisamos representar o diagrama de forças. Como a carga 2 possui sinal oposto das demais, teremos a geração de força atrativa entre a carga 2 e as demais.



Nesta situação, para que o equilíbrio seja atingido pela carga 2, precisamos que o módulo de F_{21} seja igual a força F_{23} , ou que o somatório das forças (considerando os sentidos opostos) que atuam sobre a partícula 2 seja nulo. Neste caso temos:

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} = 0$$

Considerando apenas a direção x, temos:

$$-\frac{kq_2q_1}{x^2} + \frac{kq_2q_3}{(d-x)^2} = 0$$

$$\frac{kq_2 4 \cdot 10^{-6}}{x^2} = \frac{kq_2 9 \cdot 10^{-6}}{(0,35 - x)^2}$$

Neste ponto podemos notar que a posição de equilíbrio não depende da carga q_2 , pois ela se cancela no equacionamento.

$$\frac{(0,35 - x)}{x} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-6}}}$$

$$0,35 - x = 1,5x$$

$$2,5x = 0,35$$

$$x = 0,14 \text{ m}$$

Neste problema, é interessante notar que a posição de equilíbrio será obtida em um ponto que será mais próximo da carga menor (q_1) e mais distante da carga maior (q_3).

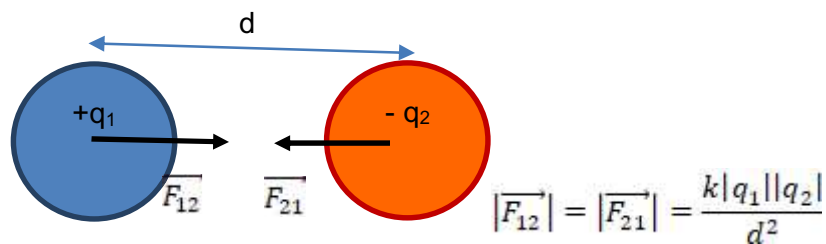
Como podemos notar, nos exemplos acima, obtemos a força elétrica aplicada em uma partícula carregada em função de outras partículas carregadas presentes na vizinhança. Uma situação parecida ocorre quando consideramos que a carga atribuída a cada uma das partículas esteja distribuída em esferas. Neste cenário, três situações merecem destaque:

Situação 1

Quando a carga elétrica estiver distribuída homoganeamente no volume de uma esfera ou em uma casca esférica, a força elétrica entre duas esferas ou entre uma esfera e uma partícula carregada situada em uma posição maior que o raio da esfera poderá ser calculada considerando que as esferas se comportem como partículas.

Conforme descreve a situação 1, a carga será aquela acumulada em cada uma das esferas, e a distância deverá ser obtida de centro à centro de cada esfera ou do centro da esfera até a partícula, conforme demonstrado na figura abaixo.

Figura 47: Força elétrica entre esferas carregadas.



Fonte: Autoria própria.

Situação 2:

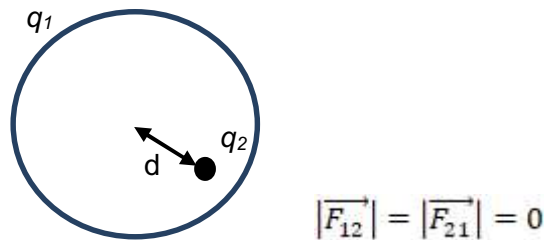
A força elétrica será nula entre uma partícula carregada e uma casca esférica homoganeamente carregada sempre que a partícula estiver ocupando uma posição localizada no interior da casca.

:

Essa situação envolve todas as distribuições superficiais de carga com

geometrias esféricas. Um exemplo disso ocorre quando consideramos uma carga distribuída em uma esfera condutora, seja maciça ou oca, pois nos condutores as cargas em excesso sempre estarão localizadas na superfície externa.

Figura 48: Força elétrica nula quando a partícula carregada está localizada no interior de uma casca esférica.



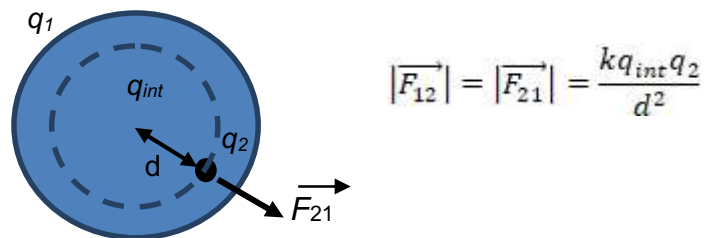
Fonte: Autoria própria.

Situação 3:

A força elétrica entre uma partícula, q_2 , carregada positivamente, localizada a uma distância d do centro de uma esfera isolante de raio R , com cargas positivas, q_1 , distribuídas homogeneamente, será proporcional a carga contida no interior (q_{int}) da esfera delimitada pela distância $d < R$.

Essa situação será mais contextualizada no próximo tópico mediante a compreensão do conteúdo da Lei de Gauss. No entanto a Figura 23 auxilia a ilustrar o que acontece nessa situação.

Figura 49: Força elétrica em uma partícula carregada q_2 localizada no interior de uma casca esférica isolante.



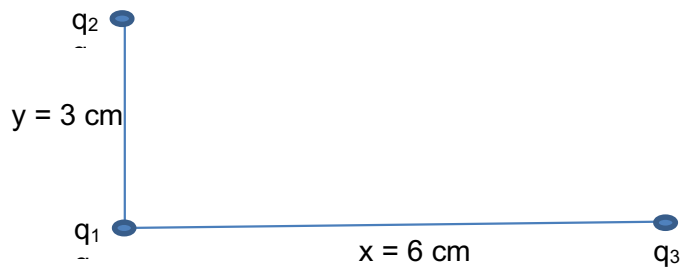
Fonte: Autoria própria.

É interessante notar que até o momento, entendemos como calcular a força elétrica entre partículas carregadas e distribuições esféricas de cargas. No próximo tópico compreenderemos como calcular a força elétrica entre objetos com outros

formatos e partículas, por meio das definições de campo elétrico e da Lei de Gauss.

Exercícios propostos

3.1) Três partículas estão dispostas conforme a figura abaixo. As partículas possuem cargas $q_1 = -10 \text{ pC}$, $q_2 = 6 \text{ pC}$ e $q_3 = 16 \text{ pC}$. Determine a força elétrica que atua sobre a partícula 1 em função das demais cargas. Dados: $x = 6 \text{ cm}$ e $y = 3 \text{ cm}$.

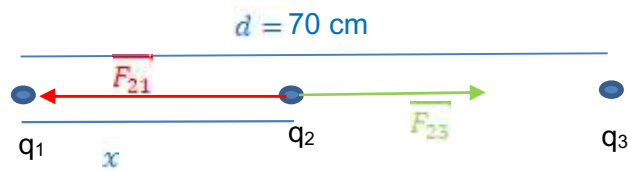


Dica: para solucionar o problema devemos considerar a interação entre as cargas 1 e 2, gerando a força F_{12} , bem como a interação entre as cargas 1 e 3, gerando F_{13} , conforme segue representado no diagrama abaixo.



3.2) Este exercício vai ilustrar uma situação similar àquela descrita pela Atividade 4. Imagine que cada um dos balões se comporte como partícula e possua carga elétrica $q_1 = 6 \text{ } \mu\text{C}$ (na origem) e $q_3 = 12 \text{ } \mu\text{C}$ respectivamente, separados por uma distância de 70 cm. Entre as cargas 1 e 3 é colocada uma carga $q_2 = -8 \text{ } \mu\text{C}$. Determine a posição a partir da origem na qual q_2 permanece em equilíbrio?

Dica: Para resolvermos este problema, inicialmente precisamos representar o diagrama de forças. Como a carga 2 possui sinal oposto das demais, teremos a geração de força atrativa entre a carga 2 e as demais.



3.3) Duas cargas puntiformes eletrizadas estão fixadas a 2 m uma da outra, as cargas têm os seguintes valores: $q_1 = -5 \mu\text{C}$ e $q_2 = 3 \mu\text{C}$. Calcule a intensidade da força eletrostática. Sabendo que ocorre no vácuo.

3.4) A esfera 1, de raio $R_1 = 50 \text{ cm}$ recebeu uma carga elétrica de $2 \mu\text{C}$ e se encontra na origem do sistema de coordenadas. A esfera 2, de raio $R_2 = 1 \text{ m}$, recebeu uma carga de $-4 \mu\text{C}$ e se encontra sobre o eixo x . As superfícies das esferas estão separadas por uma distância de $3,5 \text{ m}$. Calcule o módulo da força de atração entre elas.

6.4 TÓPICO 4: CAMPO ELÉTRICO.

Previsão de duração: 02 horas/aula.

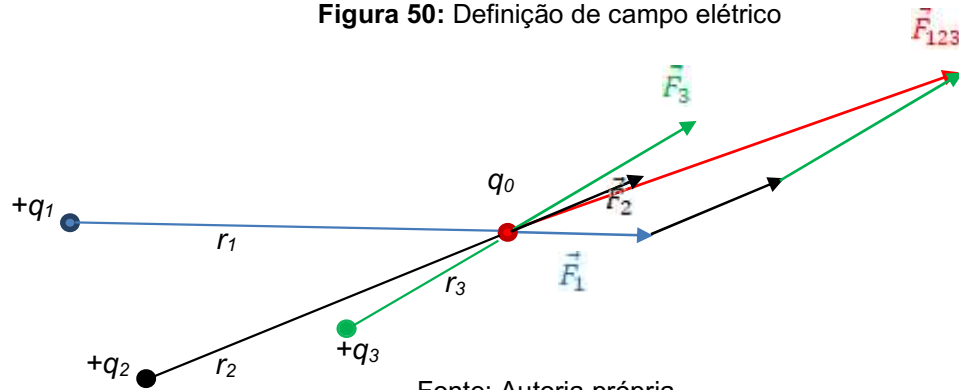
Este tópico será iniciado a partir da contextualização dos conteúdos de força elétrica trabalhados anteriormente. Neste sentido, um debate inicial foi conduzido, e para tanto, utilizamos as perguntas elencada abaixo;

- Para sentir os efeitos de corpos eletrizados é necessário tocar neles? Justifique.
- As forças de atração e repulsão elétrica entre dois ou mais corpos dependem do material de que eles são feitos? Dependem da quantidade de carga dos corpos? E da distância entre eles?

De posse dos apontamentos obtidos a partir do debate, direcionamos os questionamentos para definir uma maneira de como obter a força elétrica entre partículas e objetos de geometria simples carregados eletricamente, tais como: discos, barras, anéis e suas composições. Neste cenário, foi justificada a definição de uma nova variável Física - o campo elétrico, medido em Newtons/Coulomb no SI (N/C) - capaz de facilitar a obtenção da força elétrica considerando cargas distribuídas em diferentes geometrias.

Para compreender a definição de campo elétrico, consideramos a seguinte situação. Dada uma distribuição espacial de cargas, é colocada uma pequena carga de prova (sempre positiva) no local que se deseja saber o campo elétrico. Essa carga de prova necessita ser pequena para que não influencie suas vizinhanças. Então é medida a força na carga de prova em função da proximidade com as demais cargas elétricas. O campo elétrico no ponto ocupado pela carga de prova é, portanto definido como a razão entre a força que a carga de prova está submetida e o valor de carga elétrica (atribuída à carga de prova), conforme a Figura 24 e a equação abaixo:

Figura 50: Definição de campo elétrico



Fonte: Autoria própria.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (4)$$

É interessante notar que como a força é uma grandeza vetorial, que está dividida por uma constante, o campo elétrico também será vetorial, tendo, portanto uma direção, módulo e sentido. Neste cenário o campo elétrico sempre apontará para longe das cargas positivas (divergente), bem como, em direção das cargas negativas (convergente). Continuando, quando a carga de prova está sujeita a mais de uma força decorrente de outras cargas vizinhas, o campo elétrico será obtido a partir da razão entre a força resultante e o valor da carga de prova, conforme a demonstração abaixo:

$$\vec{E}_{tot} = \frac{\vec{F}_1}{q_0} + \frac{\vec{F}_2}{q_0} + \frac{\vec{F}_3}{q_0} = \frac{\vec{F}_{123}}{q_0} \quad (5)$$

Utilizando a definição da Lei de Coulomb, podemos obter o campo de partículas, conforme a equação 6.

$$\begin{aligned} \vec{E}_{tot} &= \frac{kq_1q_0}{q_0(r_1)^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2q_0}{q_0(r_2)^2} \hat{r}_2 + \frac{kq_3q_0}{q_0(r_3)^2} \hat{r}_3 \\ \vec{E}_{tot} &= \frac{kq_1}{(r_1)^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2}{(r_2)^2} \hat{r}_2 + \frac{kq_3}{(r_3)^2} \hat{r}_3 \end{aligned} \quad (6)$$

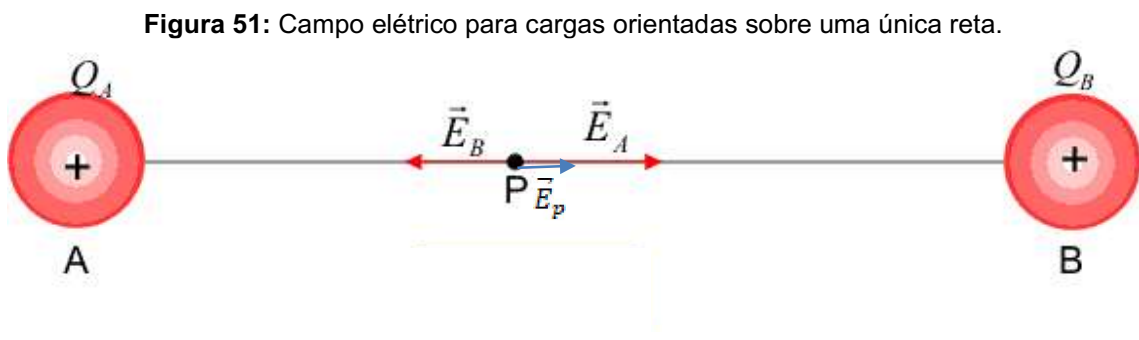
Considerando apenas uma partícula com carga q , podemos obter uma versão mais simplificada da equação 6 para o módulo do campo elétrico no ponto p distante r da carga q , correspondente à versão da Lei de Coulomb para o campo elétrico.

$$|\vec{E}| = \frac{kq}{r^2} \quad (7)$$

Cabe ressaltar que quanto maior a carga geradora de campo e quanto menor

for a distância r entre a carga e o ponto que se deseja determinar o campo, maior será o valor do campo elétrico. O valor de k , derivado da equação da força continua sendo $8,99 \times 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$. Todavia, a soma das forças ou de campos elétricos não deve ser feita de uma maneira escalar - apenas somando os módulos das forças - uma vez que as forças são vetores e podem apontar em diferentes direções. Sendo assim, abaixo elencamos diferentes situações que ilustram alguns casos relacionados com a determinação do campo elétrico.

Quando as cargas estão posicionadas sobre uma única reta: apenas neste caso, podemos somar ou subtrair os módulos dos vetores de força ou campo elétrico, conforme mostrado na Figura 25. Analisando a mesma, podemos que no ponto P, onde a carga de prova está posicionada, o vetor resultante de campo elétrico será dado pela subtração dos módulos dos vetores E_A e E_B respectivamente, já que cada carga Q_A e Q_B são positivas e geram vetores de campo divergentes, ou seja, que apontam para longe das mesmas. A direção e sentido do campo elétrico resultante em P será dada pelo maior dos dois vetores, portanto, E_A neste caso. A equação 8 apresenta a forma algébrica para a obtenção do módulo do campo no ponto P.



Fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrstatica/campo2.php>
 acessado em: 10/04/2019

$$\vec{E}_p = \vec{E}_A + \vec{E}_B$$

$$|\vec{E}_p| = |\vec{E}_A| - |\vec{E}_B| \quad (8)$$

Quando as cargas estão posicionadas sobre um único plano: neste caso, para obtermos o valor do campo elétrico resultante o ponto P, é necessário procedermos inicialmente com a soma vetorial dos campos, que pode ser realizada por duas maneiras diferentes - pela lei dos cossenos ou pela soma gráfica de vetores.

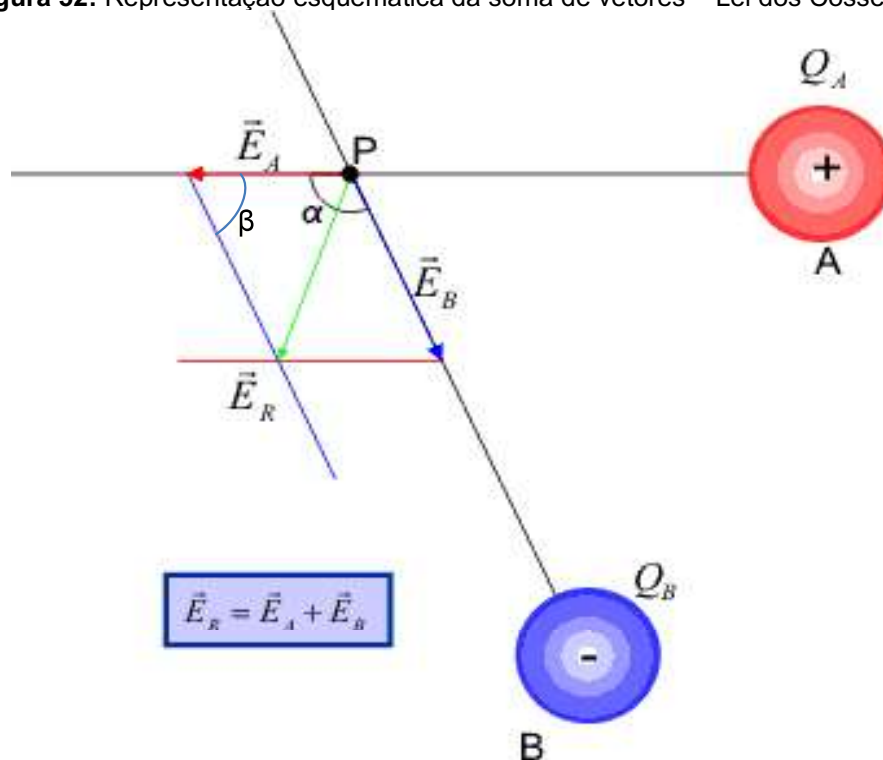
A primeira regra - a lei dos cossenos – pode ser utilizada para obter o módulo do campo elétrico a partir do módulo de 2 vetores de campo e do ângulo entre eles. A Figura 26 ilustra duas cargas puntiformes (A e B) que geram vetores de campo (E_A e E_B) no ponto P . Podemos notar a formação de um triângulo dado pelas arestas em vermelho (E_A), azul (E_B) e verde (E_R). Aplicando a lei dos cossenos neste triângulo temos:

$$E_R^2 = E_A^2 + E_B^2 - 2E_A E_B \cos(\beta) \quad (9)$$

É interessante notar que β é o ângulo complementar de α ($\cos(\beta) = -\cos(\alpha)$), que define o ângulo entre os dois vetores (E_A) e (E_B). Sendo assim, a equação 9 pode ser reescrita como sendo:

$$E_R^2 = E_A^2 + E_B^2 + 2E_A E_B \cos(\alpha) \quad (10)$$

Figura 52: Representação esquemática da soma de vetores – Lei dos Cossenos.



Fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrostatica/campo2.php>
acessado em: 10/04/2019.

Vale a pena ressaltar que embora as equações 9 e 10 forneçam o módulo do

vetor resultante da soma de A e B , nenhuma informação acerca da orientação de E_R pode ser obtida a partir delas. Para obtermos informações acerca da orientação dos vetores necessitamos optar por métodos que relacionem as orientações de cada um dos vetores com um sistema de coordenadas pré-estabelecido, conforme indicamos no segundo método.

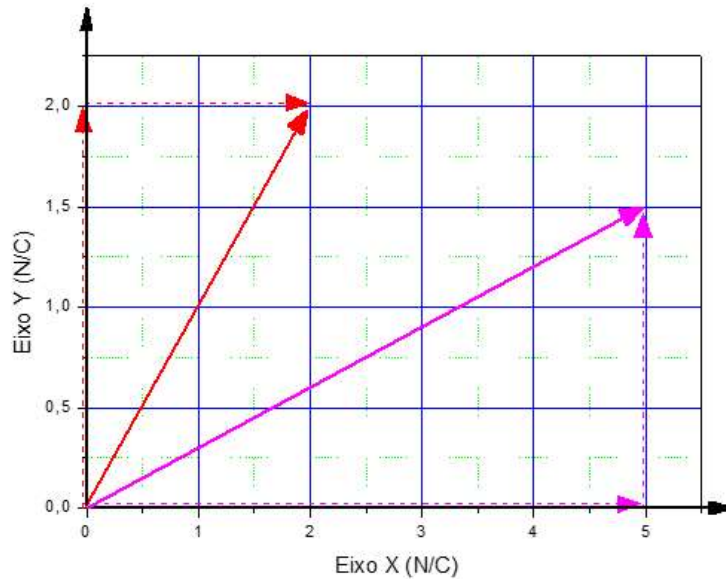
Com base em um plano cartesiano, conforme representado na Figura 27, podemos representar um vetor por meio das suas projeções em cada um dos eixos, ou seja, as medidas que cada vetor possui considerando cada um dos eixos partindo da sua origem e chegando a sua extremidade. Para tanto, usamos uma representação algébrica vetorial apropriada, na qual uma seta posta acima da variável indica sua natureza vetorial, a representação \hat{i} indica a medida do vetor ao longo do eixo x , \hat{j} indica a medida do vetor ao longo do eixo y e \hat{k} indica a medida do vetor ao longo do eixo z . Tomando o exemplo dos dois vetores representados na Figura 27, podemos representá-los da seguinte forma:

$$\text{Vermelho: } \vec{E}_1 = (2\hat{i} + 2\hat{j})N/C$$

$$\text{Rosa: } \vec{E}_2 = (5\hat{i} + 1,5\hat{j})N/C$$

É importante destacar que o tamanho total do vetor, também conhecido como módulo ou norma do vetor, normalmente não corresponde a nenhuma das medidas isoladas sobre qualquer um dos eixos. Com base na Figura 27, para calcularmos o módulo desses vetores necessitamos calcular a hipotenusa do triângulo formado pelas projeções \hat{i} e \hat{j} . Algebricamente o módulo do vetor \vec{E}_1 é representado pelas barras paralelas $|\vec{E}_1|$ ou simplesmente pela escrita em negrito E_1 . Abaixo representamos as expressões matemáticas que representam o módulo de cada um dos vetores.

Figura 53: Representação esquemática de vetores no plano.



$$\begin{aligned} |\vec{E}_1|^2 &= 2^2 + 2^2 \\ |\vec{E}_1| &= 2,82 \text{ N/C} \\ |\vec{E}_2|^2 &= 5^2 + 1,5^2 \\ |\vec{E}_2| &= \sqrt{25 + 2,25} \\ |\vec{E}_2| &= 5,22 \text{ N/C} \end{aligned}$$

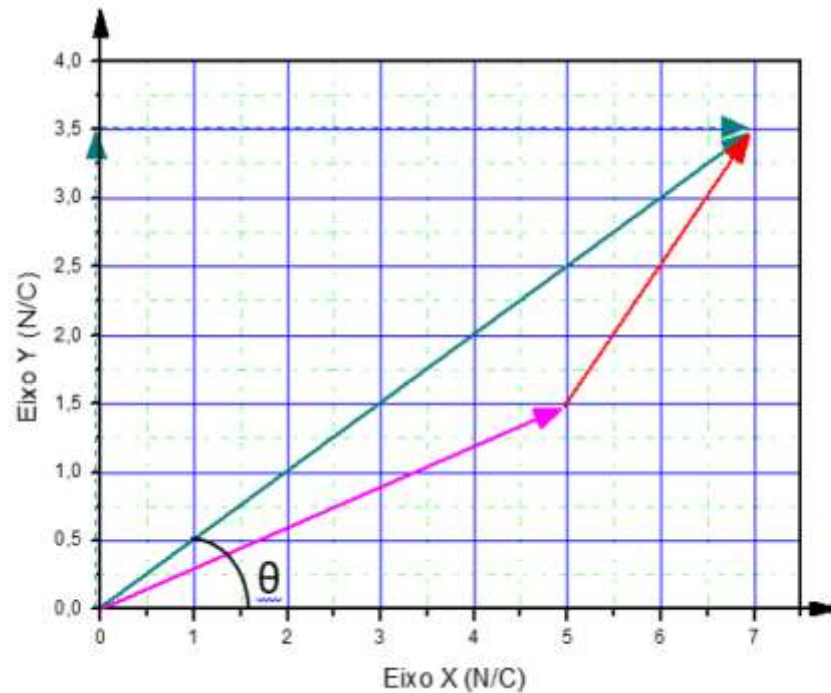
Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 27, podemos propor duas formas de somar os vetores \vec{E}_1 e \vec{E}_2 , pelo modo algébrico ou pelo modo gráfico. Diferente do método anterior que utiliza a lei dos cossenos, neste caso, teremos como resultado uma direção e um sentido do vetor resultante. O modo algébrico consiste em somar coordenadas iguais de cada vetor (termos de \hat{i} com \hat{i} e \hat{j} com \hat{j}), gerando ao final do processo, um vetor resultante, \vec{E}_R , como segue abaixo.

$$\begin{aligned} \vec{E}_R &= \vec{E}_1 + \vec{E}_2 \\ \vec{E}_R &= (2\hat{i} + 2\hat{j}) + (5\hat{i} + 1,5\hat{j}) \\ \vec{E}_R &= (7\hat{i} + 3,5\hat{j})\text{N/C} \end{aligned}$$

A outra forma de realizar tal operação pode ser compreendida pelo método gráfico, conhecido como regra do paralelogramo, que segue ilustrado na Figura 28. Neste método os vetores são ligados pela sua extremidade, sendo que o vetor resultante iniciará no primeiro vetor da soma e terminará no último.

Figura 54: Representação esquemática de um vetor no plano – Método Gráfico.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 28 e utilizando relações trigonométricas, podemos obter a direção, θ , do vetor resultante \vec{E}_R , a partir de suas componentes \hat{i} e \hat{j} conforme expresso abaixo.

$$\tan(\theta) = \frac{E_{Ry}}{E_{Rx}}$$

$$\theta = \tan^{-1} \frac{3,5}{7}$$

$$\theta = 26,6^\circ$$

Para ilustrar melhor a aplicação do formalismo vetorial associado ao conceito de campo elétrico, retomamos a situação apresentada na Figura 26, na qual desejamos obter o campo elétrico resultante, considerando o seu módulo, direção e sentido, conforme descrito no exemplo que segue abaixo.

Exemplo 4.1) Com base na Figura 26, determine o campo elétrico resultante no ponto P , sua direção e sentido, considerando que a esfera A esteja sobre o eixo X , distante de 12 cm da origem P , com carga elétrica $Q_A = 25 \text{ nC}$, e que a esfera B

que faz ângulo $\theta = -30^\circ$ com o eixo X , com carga de $Q_B = -16 \text{ nC}$ possui distância da origem ao seu centro de 8 cm.

Iniciamos este problema calculando os módulos do campo elétrico gerado por cada uma das esferas (A e B) isoladamente na origem P . Para tanto utilizaremos a Lei de Coulomb, tomando o cuidado para converter cm para m .

Esfera A:

$$|\vec{E}_A| = \frac{kq_A}{r_A^2}$$

$$|\vec{E}_A| = \frac{8,99 * 10^9 (25 * 10^{-9})}{(0,12)^2}$$

$$|\vec{E}_A| = 15,6 * 10^3 \text{ N/C}$$

Esfera B:

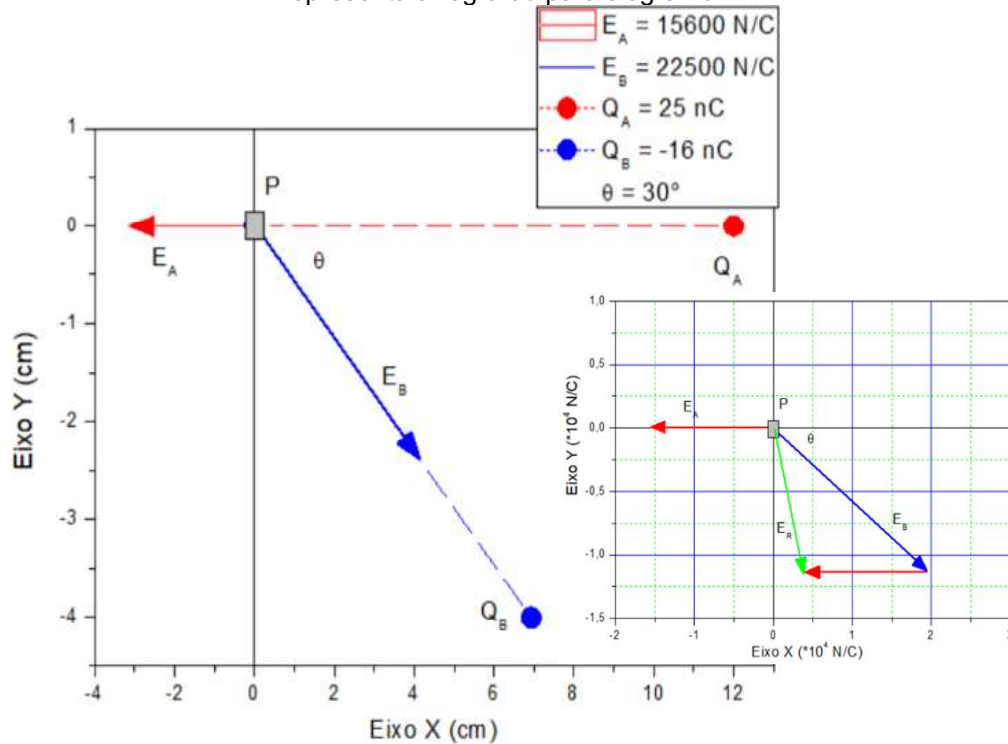
$$|\vec{E}_B| = \frac{kq_B}{r_B^2}$$

$$|\vec{E}_B| = \frac{8,99 * 10^9 (16 * 10^{-9})}{(0,08)^2}$$

$$|\vec{E}_B| = 22,5 * 10^3 \text{ N/C}$$

Neste ponto torna-se necessária a representação gráfica dos vetores de campo elétrico no plano cartesiano, conforme mostrado na Figura 29.

Figura 55: Representação dos vetores de campo elétrico no plano cartesiano. Detalhe dessa Figura representa a regra do paralelogramo.



Fonte: Autoria própria.

Na Figura 29 representamos muitos detalhes sobre o problema, como por exemplo, a posição de cada uma das cargas elétricas, o ponto P onde desejamos obter o valor do campo elétrico resultante, assim como, a orientação e a magnitude dos vetores de campo elétrico (\vec{E}_A e \vec{E}_B). Cabe destacar que como a Q_A é positiva, gera um vetor que aponta para longe (divergente) e como Q_B é negativa o vetor de campo deve ser convergente (aponta em direção à Q_B). Analisando o detalhe da Figura 29, representamos os vetores de campo elétrico em escala, observando suas orientações, e, por meio da regra do paralelogramo, podemos obter aproximadamente o valor do campo elétrico resultante observando o gráfico. Neste caso temos:

$$\vec{E}_R = (0,4\hat{i} - 1,2\hat{j}) * 10^4 \text{ N/C}$$

$$\vec{E}_R = (4000\hat{i} - 11800\hat{j}) \text{ N/C}$$

No método algébrico de soma de vetores obtemos um valor mais preciso para o campo resultante que aquele apresentado acima, porém, necessitaremos pré-requisitos mais elaborados associados à trigonometria.

Representação do campo E_A (apenas no eixo x negativo):

$$\vec{E}_A = (-15600\hat{i} + 0\hat{j})N/C$$

Representação do campo E_B (oblíqua no quarto quadrante – positivo x e negativo y):

$$\text{Projeção x: } \cos(-30^\circ) = \cos(30^\circ) = \cos(330^\circ) = 0,866$$

$$\text{Projeção y: } \sin(-30^\circ) = -\sin(30^\circ) = \sin(330^\circ) = -0,5$$

$$\vec{E}_B = (22500 * \cos 30^\circ \hat{i} + 22500 * (-\sin 30^\circ) \hat{j})N/C$$

$$\vec{E}_B = (19486\hat{i} - 11250\hat{j})N/C$$

Soma de vetores (observando as componente iguais):

$$\vec{E}_R = \vec{E}_A + \vec{E}_B = (-15600\hat{i} + 0\hat{j}) + (19486\hat{i} - 11250\hat{j})$$

$$\vec{E}_R = (3886\hat{i} - 11250\hat{j})N/C$$

O módulo de E_R :

$$|\vec{E}_R| = \sqrt{3886^2 + 11250^2}$$

$$|\vec{E}_R| = 11902N/C$$

Por meio da tangente podemos encontrar o ângulo β que E_R faz com o eixo x positivo:

$$\tan(\beta) = \frac{E_{Ry}}{E_{Rx}}$$

$$\beta = \tan^{-1} \frac{-11250}{3886}$$

$$\beta = -70,9^\circ$$

Comparando o resultado obtido a partir do método gráfico com o método algébrico, podemos notar uma boa concordância entre os resultados, com erro relativo menor de 4,7%.

Na sequência, apresentaremos os conceitos e detalhes envolvidos no caso em que a carga elétrica esteja distribuída continuamente sobre um corpo de geometria simples.

Sempre queremos determinar o campo elétrico de uma distribuição de cargas contínuas (válido para qualquer aspecto geométrico), precisamos dividir o corpo em pequenos elementos de carga ΔQ , sendo que quanto menor forem esses elementos

mais preciso será o resultado final. Na sequência, recorreremos aos cálculos de campo elétrico para cada um dos elementos ΔQ , lembrando que quanto mais elementos, mais cálculos precisaremos realizar. Ao final do processo, necessitaremos somar vetorialmente os valores de campo elétrico obtidos de cada um dos elementos ΔQ .

Na prática quando definimos um elemento pequeno de carga ΔQ , na verdade necessitamos definir o aspecto geométrico do corpo, pois isso interfere na forma como a carga está distribuída no objeto, e por consequência, na forma como o campo será calculado. Portanto, se o corpo possui um aspecto linear, isto é, uma forma de linha, vareta, aro, arco de circunferência, haste ou cilindro alongado, a carga, Q , pode ser correlacionada com o seu comprimento, L , medido em metros (m) no SI. Neste caso, λ , chamado de densidade linear de carga, será sempre constante ao longo do corpo se o mesmo possuir uma distribuição uniforme de carga, é definido da seguinte forma:

$$\lambda = \frac{Q}{L} = \frac{\Delta Q}{\Delta L} \quad [\text{C/m}] \quad (11)$$

Onde ΔQ e ΔL representam um pequeno elemento de carga acomodado em um pequeno elemento de comprimento do corpo. Cabe destacar que a razão entre esses pequenos elementos é equivalente à razão entre a carga total e o comprimento total.

Caso o corpo possua uma geometria bidimensional, como por exemplo, um plano ou um disco, necessitamos que cada elemento de carga ΔQ seja descrito por uma densidade superficial de carga, σ , multiplicada por um pequeno elemento de área ΔA – m^2 no SI - correspondente. Esta situação pode ser descrita algebricamente pela equação 12.

$$\sigma = \frac{Q}{A} = \frac{\Delta Q}{\Delta A} \quad [\text{C/m}^2] \quad (12)$$

Por final, caso a carga elétrica esteja distribuída uniformemente sobre um volume, cada elemento de carga ΔQ será correlacionado com o correspondente elemento de volume ΔV - m^3 no SI - por meio da densidade de carga volumétrica, ρ , conforme a equação abaixo.

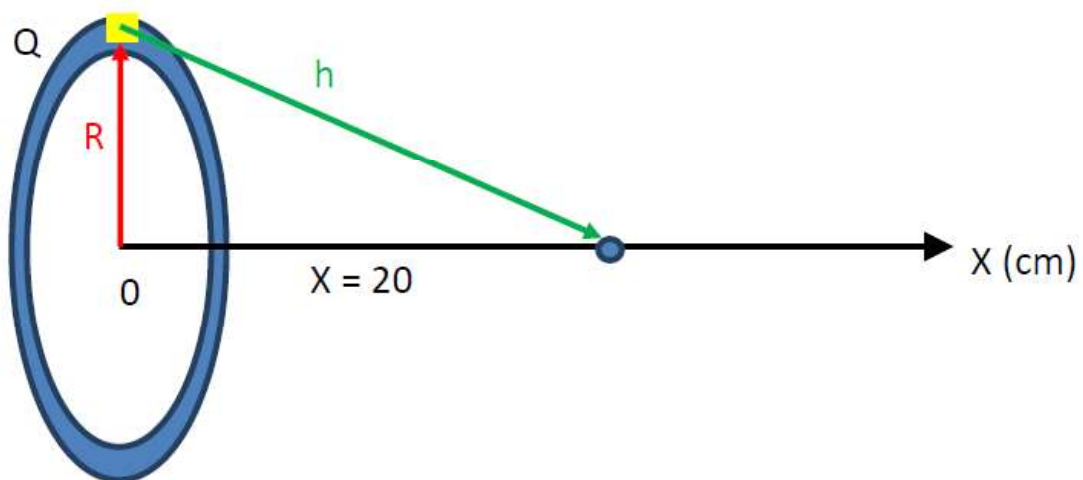
$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad [\text{C/m}^3] \quad (13)$$

Cabe ressaltar que o cálculo de campo elétrico de distribuições contínuas de cargas normalmente requer conceitos matemáticos ligados ao ensino superior – Cálculo Integral e Diferencial -, no entanto, para facilitar a compreensão dos

conteúdos apresentados acima, preparamos o exemplo que segue abaixo e auxilia na interpretação do processo de discretização de uma distribuição linear de carga elétrica (divisão de um corpo extenso em pequenos elementos - infinitesimais).

Exemplo 4.2) Determine o campo elétrico na posição $x = 20 \text{ cm}$ sobre o eixo de um anel de raio $R = 8 \text{ cm}$, carregado com carga $Q = 5 \mu\text{C}$, conforme representado na Figura 30.

Figura 56: Representação da distribuição de cargas descrita no exemplo acima.



Fonte: Autoria própria.

Para obtermos a resolução deste problema, necessitamos dividir o anel em pequenas partes, e determinar o campo elétrico no ponto $X = 20 \text{ cm}$. Portanto, a partir da Figura 30, precisamos ilustrar a orientação do vetor campo elétrico gerado por um elemento de carga ΔQ , escolhido aleatoriamente ao longo do anel, conforme mostra a Figura 31.

Analisando a Figura 31, cada pequeno elemento de carga gera um campo elétrico ΔE que pode ser calculado em módulo conforme a equação abaixo:

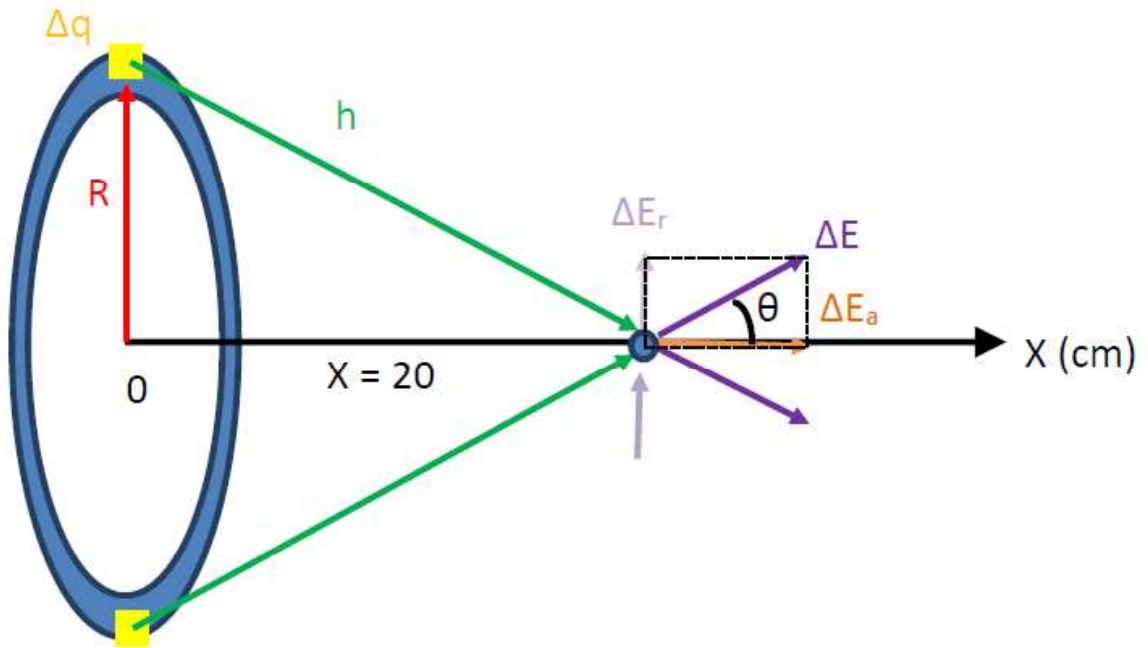
$$\Delta E = \frac{k\Delta q}{h^2} \quad (14)$$

É importante notar que ΔE determina o campo elétrico do elemento de carga Δq situado a uma distância h do ponto P . A direção de ΔE é oblíqua, e diferente para cada Δq escolhido aleatoriamente. Portanto, usaremos as direções: radial e axial para realizarmos a soma vetorial das componentes de do vetor campo ΔE .

Na direção radial, cada pequeno elemento de carga Δq gera um pequeno vetor de campo elétrico ΔE_r que possui um vetor correspondente simétrico que se

cancelam aos pares. Já na direção axial, ao longo do eixo x, as projeções do vetor ΔE_a se somam, resultando no valor final do campo elétrico, conforme mostra a Figura 31.

Figura 57: Representação dos vetores radiais e axiais de campo elétrico no eixo do anel carregado uniformemente.



Fonte: Autoria própria.

Para calcular a componente axial do campo elétrico, partimos da Lei de Coulomb descrita para um pequeno elemento de carga, conforme a equação abaixo.

$$\Delta E_a = \frac{k\Delta q}{h^2} \cos\theta \quad (15)$$

Como a equação (15) os valores de k , h e θ não dependem da posição da carga Δq , e também do valor destinado a Δq , podemos obter o campo elétrico total no eixo do anel realizando o somatório de todos os elementos Δq , resultando ao final na carga total, Q , acumulada no anel, conforme descreve a equação (16).

$$E = \sum E_a = \frac{k}{h^2} \cos\theta \sum \Delta q \quad (16)$$

$$E = \frac{kQ}{h^2} \cos\theta$$

Para facilitar a obtenção dos resultados, costumeiramente as grandezas h e $\cos \theta$ são reescritas em função de x e R , conforme as relações abaixo:

$$h = \sqrt{x^2 + R^2}$$

$$\cos \theta = \frac{x}{h} = \frac{x}{\sqrt{x^2 + R^2}}$$

Dessa forma o campo total no eixo do anel, possui direção e sentido no eixo x positivo será descrito conforme a equação (17).

$$\vec{E} = \frac{kQ}{(x^2 + R^2)} \frac{x}{(x^2 + R^2)^{1/2}} \hat{i}$$

$$\vec{E} = \frac{kQx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \hat{i} \quad (17)$$

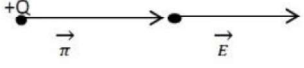
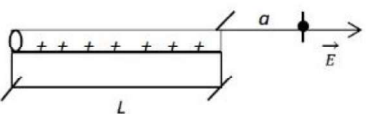
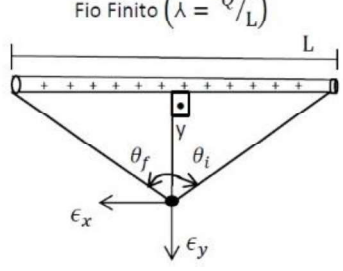
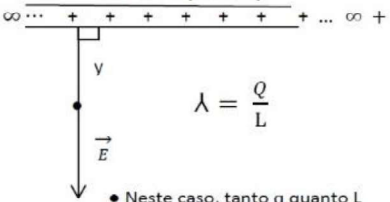
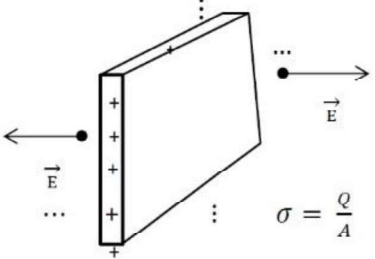
É interessante notar que quando queremos determinar o campo elétrico em uma posição afastada do anel, devemos obter como resposta a expressão do campo de uma partícula carregada. Algebricamente partindo da equação 17, e fazendo $x \gg R$ temos.

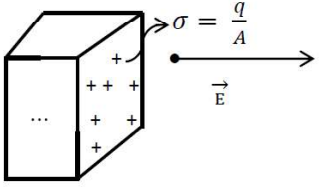
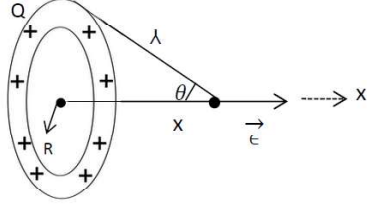
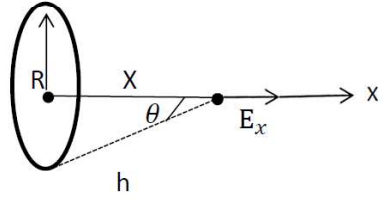
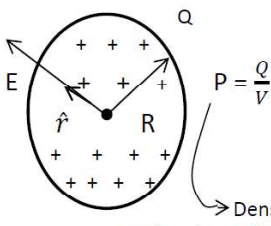
$$E = \frac{kQx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \approx \frac{kQx}{(x^2)^{3/2}}$$

$$E = \frac{kQ}{x^2}$$

Considerando as diferentes formas geométricas simples na qual a carga elétrica pode ser distribuída, preparamos a Tabela 1 que ilustra com detalhes a forma geométrica da distribuição de cargas, sua respectiva expressão algébrica e suas limitações/cuidados com a aplicação.

Quadro 39: Representação esquemática de algumas distribuições de cargas elétricas, suas equações e limitações para o uso.

<p style="text-align: center;">Carga Pontual</p> 	<p style="text-align: center;">Equação</p> $\vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r}$ $ \vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q}{r^2}$	<p>Limitação / Significado Determina o Campo de cargas e esferas (região externa). Q = Carga (C) r = distância da carga até o ponto que E será determinado (m).</p>
<p style="text-align: center;">Campo no eixo de um fio de comprimento L</p> 	$ \vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q}{a(L+a)}$	Serve apenas para calcular o campo na direção do fio. L = Tamanho do fio (m). a = Distância da ponta do fio até o ponto, que se deseja calcular o Campo E.
<p style="text-align: center;">Fio Finito ($\lambda = Q/L$)</p> 	$E_y = \frac{\lambda}{4\pi \epsilon_0 y} \text{sen } \theta \Big _{\theta_i}^{\theta_f}$ $E_x = \frac{\lambda}{4\pi \epsilon_0 y} (-\text{Cos } \theta \Big _{\theta_i}^{\theta_f})$	θ_i sempre será negativo . y = Distância perpendicular ao fio até o ponto onde E será determinado.
<p style="text-align: center;">Finito (Centro)</p>  <p style="text-align: center;">$\lambda = \frac{Q}{L}$</p> <p>• Neste caso, tanto q quanto L não infinitos, mas λ (C/m) será finito.</p>	<p style="text-align: center;">Equação</p> $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 y} \hat{r}$ $ \vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi \epsilon_0 y}$	<p style="text-align: center;">Limitações:</p> Campo será sempre perpendicular ao fio. y = Distância perpendicular ao fio até o ponto onde E será calculado.
<p style="text-align: center;">Plano infinito isolante com σ</p>  <p style="text-align: center;">$\sigma = \frac{Q}{A}$</p>	<p style="text-align: center;">Equação</p> $ \vec{E} = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$	<ul style="list-style-type: none"> O campo independente da distancia com o plano infinito. As linhas de campo são emitidas dos dois lados do plano sempre perpendicular ao plano.

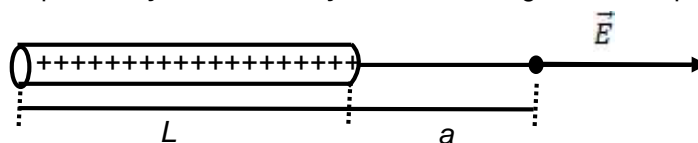
<p>Plano Espesso Infinito Condutor</p>  <p>$\sigma = \frac{q}{A}$</p> <p>\vec{E}</p>	$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	<p>A densidade de carga σ está todo na superfície extrema do plano.</p> <ul style="list-style-type: none"> σ zero campo apenas para o lado de fora do plano.
<p>Campo no Eixo do Anel</p>  <p>Q</p> <p>R</p> <p>X</p> <p>θ</p> <p>\vec{E}</p>	<p>Equação</p> $E_x = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 h^2} \cos \theta$ <p>ou</p> $E_x = \frac{Q x}{4\pi \epsilon_0 (x^2 + R^2)^{3/2}}$	<p>Campo no Eixo X:</p> <p>R = Raio (m)</p> <p>X = Distância do centro do anel até o ponto onde \mathbf{E} é calculado.</p>
<p>Campo no Eixo de um Disco.</p>  <p>R</p> <p>X</p> <p>θ</p> <p>E_x</p> <p>h</p>	<p>Equação</p> $E_x = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \left(1 - \frac{X}{\sqrt{X^2 + R^2}} \right)$	<p>Serve apenas para calcular o campo no eixo do Disco.</p>
<p>Esfera Isolante $r < R$</p>  <p>Q</p> <p>R</p> <p>r</p> <p>\hat{r}</p> <p>E</p> <p>$\rho = \frac{Q}{V}$</p> <p>Densidade Volumétrica de Carga.</p>	<p>Equação</p> $E = \frac{Q r}{4\pi \epsilon_0 R^3} \hat{r}$ $ E = \frac{Q r}{4\pi \epsilon_0 R^3}$ <p>ou</p> $ E = \frac{\rho r}{3 \epsilon_0}$	<ul style="list-style-type: none"> Sempre E será radial. r = (m) Posição interna onde \mathbf{E} será calculado. $\rho = (C/m^3)$ Densidade Volumétrica de Carga.

Fonte: Autoria Própria

Outro exemplo que auxilia a compreensão dos procedimentos envolvidos na determinação do campo elétrico de uma distribuição contínua de carga segue discutido abaixo, podendo ser aplicado com alunos do Ensino Médio de modo a enfatizar a necessidade de discretizar a carga de modo a somar a contribuição de cada vetor de campo neste processo.

Exemplo 4.3) A Figura abaixo mostra uma barra fina de comprimento $L = 40\text{ cm}$ e carga $Q = 12\text{ nC}$. Determine o campo elétrico na posição $a = 15\text{ cm}$ da extremidade da barra, ao longo do seu eixo, considerando: a) que a barra seja dividida em 2 partes. b) que a barra seja dividida em apenas 8 partes. c) que a barra possua uma distribuição contínua de cargas e seja dividida em infinitas partes.

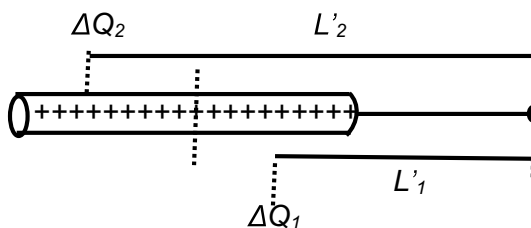
Figura 58: Representação da distribuição linear de cargas do exemplo 05.



Fonte: Autoria própria.

Analisando a Figura 32 podemos notar que em função da distribuição de cargas, o campo elétrico terá direção dada pelo eixo que passa pela linha de cargas. Essa observação é muito importante, pois permite que a somar os vetores seja realizada da mesma maneira que escalares.

Considerando o item a) deste exemplo, a carga deverá ser dividida em apenas 2 porções iguais de $\Delta Q' = 6\text{ nC}$, com $\Delta L' = 20\text{ cm}$ cada, conforme o esquema abaixo ilustrado:



Neste caso as distâncias L'_1 e L'_2 valem 25 cm e 45 cm respectivamente, e o campo elétrico poderá ser calculado conforme o equacionamento que segue abaixo:

$$\vec{E} = \frac{kQ'_1}{(L'_1)^2} \hat{i} + \frac{kQ'_2}{(L'_2)^2} \hat{i}$$

$$\vec{E} = 8,99 * 10^9 \left[\frac{6 * 10^{-9}}{(0,25)^2} + \frac{6 * 10^{-9}}{(0,45)^2} \right] \hat{i}$$

$$\vec{E} = 8,99 * 10^9 \left[\frac{6 * 10^{-9}}{(0,25)^2} + \frac{6 * 10^{-9}}{(0,45)^2} \right] \hat{i}$$

$$\vec{E} = 8,99 * 10^9 [9,6 * 10^{-8} + 2,96 * 10^{-8}] \hat{i}$$

$$\vec{E} = (1129 \text{ kN/C}) \hat{i}$$

Considerando o item b) a carga total será dividida em 8 partes resultando em elementos de carga $\Delta Q'' = 1,5 \text{ nC}$, com $\Delta L'' = 5 \text{ cm}$ cada. As distâncias de cada centro de elemento de carga até o ponto onde o campo será calculado valem $17,5 \text{ cm}$, $22,5 \text{ cm}$, $27,5 \text{ cm}$, $32,5 \text{ cm}$, $37,5 \text{ cm}$, $42,5 \text{ cm}$, $47,5 \text{ cm}$ e $52,5 \text{ cm}$ respectivamente. Para obter o campo elétrico neste caso, precisamos considerar a contribuição gerada pelos 8 termos, conforme o equacionamento abaixo.

$$\vec{E} = \frac{kQ''_1}{(L''_1)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_2}{(L''_2)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_3}{(L''_3)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_4}{(L''_4)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_5}{(L''_5)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_6}{(L''_6)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_7}{(L''_7)^2} \hat{i} + \frac{kQ''_8}{(L''_8)^2} \hat{i}$$

$$\vec{E} = 8,99 * 10^9 \left[\frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,175)^2} + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,225)^2} + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,275)^2} + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,325)^2} + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,375)^2} \right. \\ \left. + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,425)^2} + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,475)^2} + \frac{1,5 * 10^{-9}}{(0,525)^2} \right] \hat{i}$$

$$\vec{E} = (8,99 * 10^9) 1,5 * 10^{-9} [32,65 + 19,75 + 13,22 + 9,47 + 7,11 + 5,54 + 4,43 + 3,63] \hat{i}$$

$$\vec{E} = (8,99 * 10^9) 1,5 * 10^{-9} [95,80] \hat{i}$$

$$\vec{E} = (1292 \text{ N/C}) \hat{i}$$

Por final, considerando o Item c) a solução analítica que é aplicada para uma distribuição contínua de cargas elétricas está descrita na Tabela 1, onde $a = 15 \text{ cm}$ e $L = 40 \text{ cm}$, conforme segue abaixo.

$$|\vec{E}| = k \frac{q}{a(L+a)} = 8,99 * 10^9 \frac{12 * 10^{-9}}{0,15(0,4 + 0,15)}$$

$$|\vec{E}| = 1308 \text{ N/C}$$

Analisando este problema, podemos notar que a concordância entre os

resultados obtidos tende a melhorar conforme os elementos de carga diminuem seu valor, ou seja, para garantir a validade dos resultados, necessitamos dividir a distribuição de cargas em muitas partes, preferencialmente tendendo ao infinito, o que é feito utilizando o processo de integração, tratado nos cursos de cálculo no ensino superior.

Visando aprofundar a compreensão sobre a determinação do campo elétrico gerado por diferentes distribuições de cargas, foi feito uso, no laboratório de informática o simulador *Schanpsidee*. Este simulador é aplicado ao conteúdo de eletrostática, e permite obter o valor numérico dos vetores força e campo elétrico de uma distribuição de cargas contínuas para geometrias simples, em qualquer ponto do espaço tridimensional. Outras grandezas física tais como o trabalho e o potencial elétrico também podem ser obtido através deste simulador. Esse simulador pode ser usado também *off-line* e tem um grande potencial de tornar as aulas mais dinâmicas e interativas.

Ao iniciar o contato com o simulador o estudante terá contato com uma tela inicial que apresenta as principais funcionalidades do simulador. Clicando em OK, terá acesso ao conteúdo do simulador e será orientado a montar um cenário. Clicando por sobre um ou mais objetos (ponto, anel, linha ou disco), será permitida a escolha do valor da carga, da posição e da rotação desse objeto. Também será possível determinar uma ou mais cargas de prova que definirão os pontos do espaço onde se deseja obter o valor da grandeza Física a ser calculada, conforme mostrado na Figura 33.

Figura 59: Interface para montagem do cenário e definição da posição da carga de prova (em preta).



Fonte: Autoria própria.

Tendo realizado a escolha do cenário de cargas por meio da interface mostrada na Figura 33, clica-se em fechar e dando sequência, o próximo passo que envolve a escolha da grandeza Física que será calculada. A Figura 34 mostra detalhes dessa interface que permite o cálculo e representação de 4 grandezas Físicas, o campo elétrico, E , medido em Volts por Metro (V/m), a força elétrica, F , medida em Newtons (N) o potencial elétrico, V , medido em Volts (V) e o trabalho realizado pela força elétrica, W , medido em Joules (J). Neste trabalho exploraremos as contribuições obtidas pelas determinações de força elétrica e campo elétrico com o uso deste simulador.

Figura 60: Interface para escolha das grandezas físicas que serão calculadas.

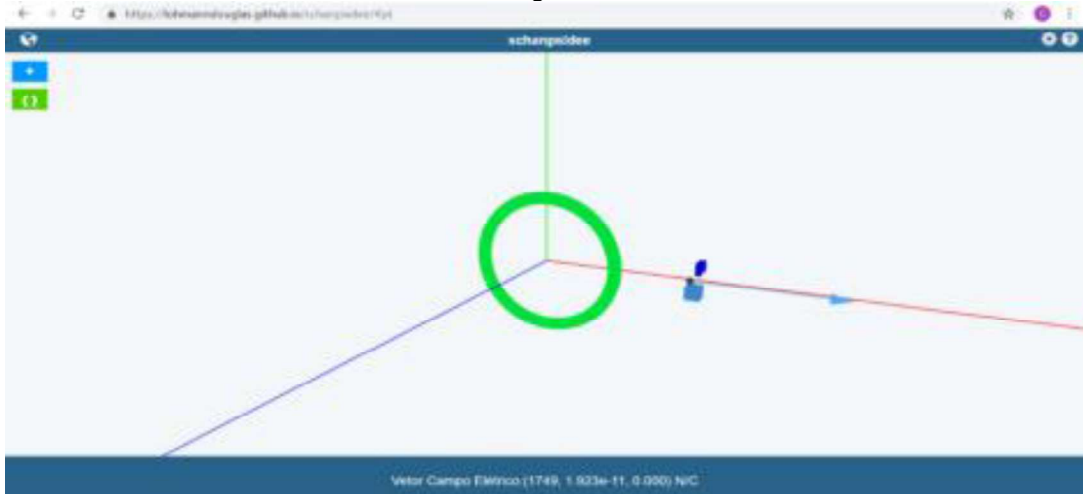


Fonte: Autoria própria.

Escolhendo por exemplo a grandeza campo elétrico, E , ou a força elétrica, F , após clicar em calcular, o simulador realizará o cálculo numérico e representará no espaço um vetor correspondente à grandeza Física escolhida, conforme mostrado na Figura 35.

Analisando a Figura 35, podemos ver uma distribuição de cargas elétricas, de $10 \mu\text{C}$, sobre um anel de 4 m de raio, cujo eixo de simetria está sobre o eixo z (em azul), assim como uma carga de prova, preta, localizada na posição de 8 m do eixo x . É interessante notar que para esta condição não existe maneira analítica para se obter o valor do vetor campo elétrico, ou seja, para que este valor seja obtido, devemos abrir mão de métodos numéricos, costumeiramente favorecidos pelo uso do computador.

Figura 61: Imagem de uma simulação do vetor campo elétrico gerado por uma distribuição de cargas contínua e homogênea em um anel.



Fonte: Autoria própria.

Neste sentido, o simulador *Schanpsídee* considera que o anel seja composto por pequeníssimas partes de carga dq – especificamente para este caso, cada elemento dq corresponde a um milésimo da carga total do anel. Partindo da Lei de Coulomb para o campo elétrico, descrita pela equação 1, e monitorando a distância, r , entre cada um dos elementos de carga dq ao ponto onde se localiza a carga de prova, obtemos a equação 2, que fornece valor do campo elétrico para a condição descrita pela Figura 3 considerando uma soma vetorial de 1000 termos.

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \frac{Q}{r^2} \hat{r} \quad (7)$$

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \sum_{i=0}^{1000} \frac{dq_i}{r_i^2} \hat{r}_i \quad (18)$$

Partindo da equação 18, podemos obter facilmente o valor do vetor força elétrica conforme descreve a equação 4, que sempre terá a mesma direção que o vetor campo elétrico, onde q_p define um valor de carga atribuído à posição ocupada pela carga de prova.

$$\vec{F} = q_p \vec{E} \quad (4)$$

Dessa forma, por meio do uso do simulador *Schanpsídee*, podemos proporcionar aos alunos uma maneira mais facilitada de analisar como os vetores de

campo elétrico e força elétrica se comportam no espaço tridimensional, considerando uma distribuição de cargas contínuas e homogênea.

Atividade 6: O simulador de campo elétrico.

Como tarefa para os alunos, foi solicitado que os mesmos inicialmente criassem um cenário – definido previamente pelo professor - no qual poderiam obter a expressão analítica do campo elétrico e da força elétrica conforme um dos modelos apresentados na Tabela 1, bem como comparar este valor com o obtido pelo simulador, a fim de aferir sua confiabilidade. Posteriormente, com o objetivo de ampliar as possibilidades de uso do simulador, foi sugerido aos alunos que calculassem o campo elétrico de uma distribuição de cargas que não pudesse ser obtida analiticamente.

Em seguida, foi solicitado aos alunos que montassem uma configuração de cargas qualquer, contendo 2 ou 3 objetos carregados. Na sequência foram solicitados que mediante o uso do simulador, avaliassem se a configuração de cargas exibia um ponto onde o campo elétrico fosse nulo. Em caso afirmativo, indicar qual seria esse ponto.

Essa atividade visa apresentar aos estudantes a importância dos cálculos numéricos e dos processos de discretização de carga, considerando o conteúdo de campo elétrico, uma vez que as soluções algébricas de campo elétrico apresentam apenas resultados para uma pequena variedade de casos de alta simetria.

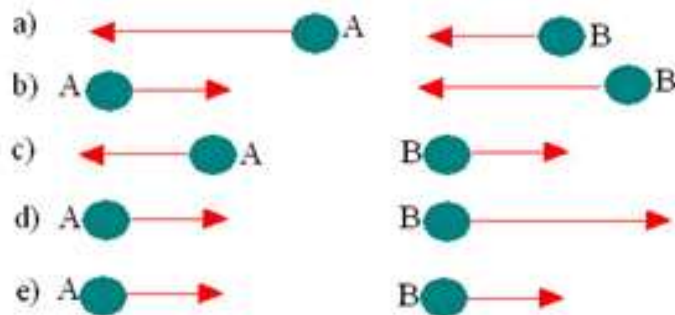
Exercícios propostos

4.1) A intensidade do campo elétrico, num ponto situado a 3,0 m de uma carga elétrica puntiforme $Q = 2,7 \mu\text{C}$ no vácuo ($k_0 = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N.m}^2/\text{C}^2$) é aproximadamente:

- a) $2,7 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- b) $8,1 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- c) $2,7 \cdot 10^6 \text{ N/C}$
- d) $8,1 \cdot 10^6 \text{ N/C}$
- e) $2,7 \cdot 10^9 \text{ N/C}$

4.2) A intensidade do campo elétrico, num ponto situado a 4,0 m de uma carga elétrica puntiforme $Q = 10 \mu\text{C}$ no vácuo ($k_0 = 8,99 \cdot 10^9 \text{ N}\cdot\text{m}^2/\text{C}^2$) é:

4.3) (UFRS) Duas cargas elétricas, A e B, sendo A de $2 \mu\text{C}$ e B de $-4 \mu\text{C}$, encontram-se em um campo elétrico uniforme. Qual das alternativas representa corretamente as forças exercidas sobre as cargas A e B pelo campo elétrico?



4.4) (PUC-SP) Numa certa região da Terra, nas proximidades da superfície, a aceleração da gravidade vale $9,8 \text{ m/s}^2$ e o campo eletrostático do planeta (que possui carga negativa na região) vale 100 N/C .



Determine o sinal e a carga elétrica que uma bolinha de gude, de massa 50g, deveria ter para permanecer suspensa em repouso, acima do solo. Considere o campo elétrico praticamente uniforme no local e despreze qualquer outra força atuando sobre a bolinha.

Ver Resposta

4.5) O campo elétrico gerado por uma carga puntiforme de $5,0 \text{ C}$ a uma distância de 30 cm da carga é equivalente a:

Dados: $k_0 = 9,0 \cdot 10^9 \text{ N/m}^2\text{C}^2$

6.5 TÓPICO 5: A LEI DE GAUSS.

Previsão de duração: 02 horas/aula.

De notáveis contribuições nos campos da Matemática, Física e Astronomia, Johann Carl Friedrich Gauss, nascido em 30 de abril de 1777 na cidade de Braunschweig na Alemanha e faleceu aos 77 nos no dia 23 de fevereiro de 1855 em Göttingen, onde viveu a maior parte de sua vida. De origem humilde – com o Pai sendo jardineiro e pedreiro, e sua Mãe analfabeta – encontrou nos estudos das ciências exatas sua profissão, sendo destaque desde sua primeira infância, onde resolveu aos 10 anos, com genialidade, problemas envolvendo progressão aritmética.

No campo da eletrostática, formulou a *Lei de Gauss*, que relaciona o fluxo elétrico que atravessa uma superfície fechada com a carga elétrica contida dentro dessa superfície fechada. Algebricamente temos,

$$\phi_E = \frac{q_{int}}{\epsilon_0} \quad (19)$$

Onde ϕ_E define o fluxo elétrico, medido no SI em V.m (Volt vezes Metro) ou N.m²/C (Newton vezes Metro quadrado dividido por Coulomb), q_{int} é a carga interna à superfície fechada em C (Coulomb) e ϵ_0 é a constante denominada permissividade elétrica do vácuo, que vale $8,85 \cdot 10^{-12}$ C²/N.m².

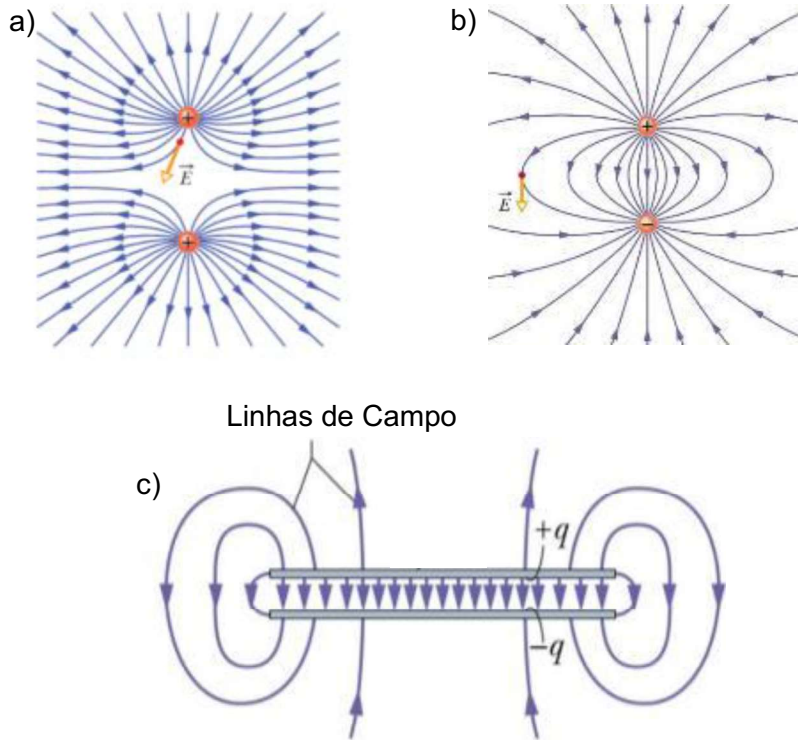
Cabe neste momento, explorar o significado de cada uma das variáveis associadas à Lei de Gauss. Para explorarmos o significado da primeira delas, o fluxo elétrico, torna-se importante apresentar uma forma alternativa de representar o campo elétrico no espaço, utilizando o conceito de linhas de campo – também denominadas linhas de força por alguns autores - que segue exemplificado no quadro abaixo.

- As linhas de campo sempre começam nas cargas elétricas positivas e terminam nas cargas negativas.
- O vetor campo elétrico é tangente à qualquer ponto das linhas de campo.
- Quanto maior for a densidade de linhas de campo em uma dada região do espaço, maior será a intensidade do campo elétrico nesta região.
- Linhas de campo nunca se cruzarão em qualquer ponto do espaço.

Para ilustrar as características associadas às linhas de campo para diferentes

configurações de cargas, apresentamos a Figura 36, que auxilia a compreensão da relação entre o campo elétrico e as linhas de campo.

Figura 62: Linhas de campo para diferentes configurações de carga, considerando cargas pontuais de mesmo sinal em a), cargas pontuais de sinais opostos em b) e as linhas de campo formadas por planos paralelos com cargas de sinais opostos em c).



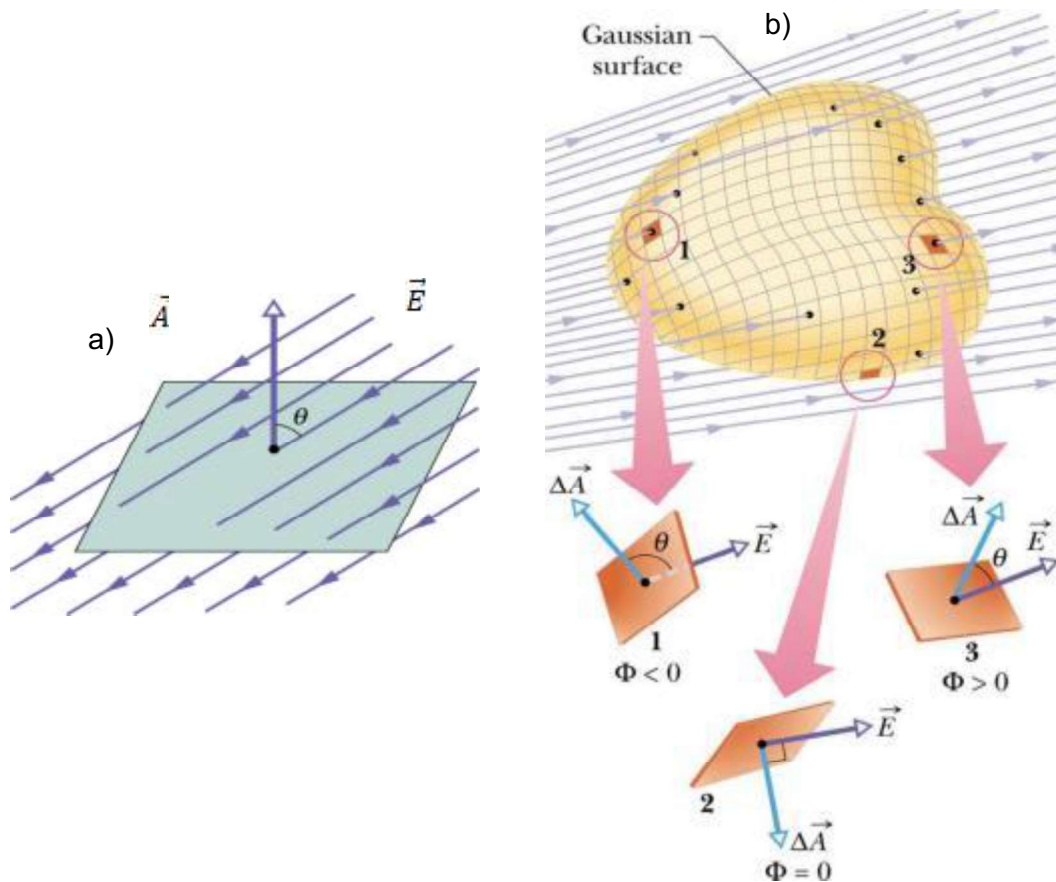
Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

Considerando a representação do campo elétrico por meio de linhas de campo, podemos relacionar a grandeza Física fluxo elétrico com a quantidade de linhas de campo que atravessam uma dada área, ou seja, quanto maior o número de linhas de campo que atravessam uma dada área, maior será o fluxo elétrico. Matematicamente o fluxo elétrico é definido pelo produto escalar entre o campo elétrico e o vetor de área (um vetor cujo módulo representa a área e tem orientação perpendicular à superfície). O produto escalar, representado pelo símbolo ponto (\cdot), resulta no produto do módulo de um vetor projetado sobre o módulo de outro vetor, conforme descreve a equação 20.

$$\Phi_E = \vec{E} \cdot \vec{A} = |\vec{E}| * |\vec{A}| * \cos\theta \quad (20)$$

A Figura 37 auxilia a interpretação de cada uma das variáveis associadas a equação 20, na qual θ define o ângulo entre os vetores de campo e de área.

Figura 63: Representação do fluxo elétrico em diferentes superfícies. a) Representa o fluxo elétrico negativo entrando na área A. b) representa o fluxo em uma superfície fechada, negativo quando entra na superfície e positivo quando sai.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

Analisando a Figura 37, podemos notar que o vetor de área sempre apontará para fora do volume descrito pela superfície fechada, utilizada na Lei de Gauss para envolver a carga geradora de fluxo. Outro cuidado importante que deve ser observado está relacionado com a uniformidade do campo ao longo da área e sua respectiva orientação.

Analisando a Figura 37, podemos notar que o vetor de área sempre apontará para fora do volume descrito pela superfície fechada, utilizada na Lei de Gauss para envolver a carga geradora de fluxo. Outro cuidado importante que deve ser observado está relacionado com a uniformidade do campo ao longo da área e sua respectiva orientação. Nos casos em que o campo não é constante ao longo da área, ou não possui a mesma orientação em cada ponto da área, como no caso descrito na Figura 37b) precisamos que a área total da superfície atravessada pelo fluxo seja dividida em pequenas partes, objetivando com isso que o vetor de campo elétrico se mantenha praticamente constante em cada uma dessas partes, ou seja,

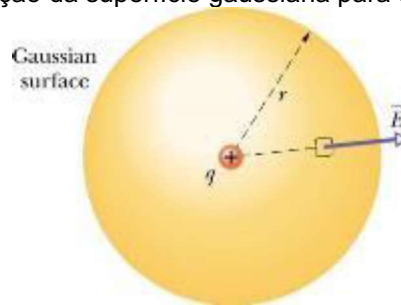
não apresente variação no seu módulo ou na sua orientação. Ao final, é realizada o somatório do fluxo elétrico de cada uma dessas pequenas partes, resultando no fluxo total da superfície. Porém este procedimento normalmente requer uma fundamentação matemática (que não aprofundaremos neste momento) costumeiramente aplicada em graduações da área de ciências exatas, na disciplina de cálculo integral e diferencial, conforme descreve a equação 21.

$$\Phi_E = \lim_{\Delta A \rightarrow 0} \sum_{i=0}^{\infty} E_i * \Delta A_i * \cos\theta_i = \int \vec{E} \cdot \vec{dA} \quad (21)$$

Consideraremos ao longo deste trabalho apenas os casos onde o campo elétrico é constante, uniforme e homogêneo, podendo dessa forma simplificar a equação (21) obtendo a equação (20). Combinando a equação (20) com a Lei de Gauss (19), obtemos uma nova ferramenta para determinar o campo elétrico, conforme os exemplos descritos a seguir.

Campo de uma partícula carregada ou de uma esfera carregada homogeneamente: Neste caso o campo elétrico possui uma direção radial, gerando um fluxo elétrico uniforme e homogêneo ao longo de uma superfície esférica de raio r – a superfície gaussiana - concêntrica à carga, conforme ilustrado na Figura 38.

Figura 64: Representação da superfície gaussiana para uma partícula carregada.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009).

Analisando a Figura 38, podemos notar que o campo elétrico sempre será perpendicular a superfície gaussiana, e como o fluxo elétrico é uniforme e homogêneo ao longo dela, o campo elétrico será constante em todos os pontos da superfície. Neste cenário, o campo elétrico pode ser obtido algebricamente em qualquer ponto da superfície gaussiana da seguinte forma,

$$\Phi_E = |\vec{E}| * |\vec{A}| * \cos\theta = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

onde $\theta = 0$, a área da esfera gaussiana vale $A = 4\pi r^2$ e a carga interna q_{int} é a carga da própria partícula. Utilizando estes dados na Lei de Gauss, temos:

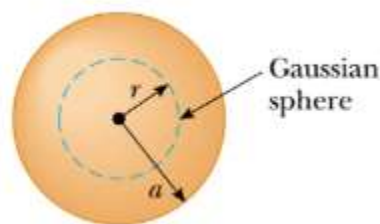
$$E(4\pi r^2)(1) = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (22)$$

Cabe ressaltar que a equação acima, descreve o campo elétrico para uma partícula carregada, vale também para esferas carregadas de raio a , desde que o raio r seja maior que a .

Caso desejarmos calcular o campo em uma posição r , interna a uma esfera uniformemente carregada, ($r < a$), precisamos inicialmente identificar qual é a carga acumulada na esfera gaussiana r , conforme mostrado na Figura 39.

Figura 65: Representação da superfície gaussiana interna a uma esfera uniformemente carregada.



Fonte: Modificado do livro Princípio de Física. Serway, Jewett, Jr. (2014).

Considerando que a carga esteja uniformemente distribuída, que implica em uma densidade de cargas constante, podemos calcular a proporção entre a carga total acumulada na esfera e a carga da esfera gaussiana, conforme segue abaixo.

$$\rho = \frac{q_{int}}{\frac{4}{3}\pi r^3} = \frac{Q_{tot}}{\frac{4}{3}\pi a^3}$$

$$q_{int} = \frac{Q_{tot} r^3}{a^3} \quad (23)$$

Utilizando o resultado da equação (23) na Lei de Gauss, temos:

$$\Phi_E = E * A * \cos\theta = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

Como o ângulo θ entre o vetor de campo e o vetor normal à área é nulo, temos,

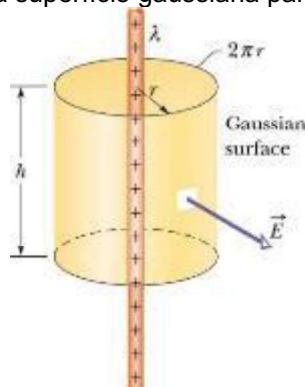
$$E * 4\pi r^2 = \frac{Q_{tot} r^3}{\epsilon_0 a^3}$$

$$E = \frac{Q_{tot} r}{4\pi\epsilon_0 a^3} \quad (24)$$

onde, Q_{tot} representa a carga total na esfera de raio a , e representa a posição onde o campo será determinado.

Campo de uma linha infinita de cargas: Neste caso o campo elétrico terá direção radial e também será perpendicular à linha de cargas. Para obter o valor do campo, utilizamos uma superfície gaussiana cilíndrica, concêntrica a linha de cargas, conforme descreve a Figura 40.

Figura 66: Representação da superfície gaussiana para uma linha infinita de cargas.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

A superfície cilíndrica apresentada na Figura 40 pode ser dividida em 3 partes, duas tampas circulares de área (πr^2) cada uma e a superfície lateral de área

$(2\pi rh)$. É importante notar que nas tampas circulares do cilíndrico, o fluxo elétrico é nulo, pois o campo elétrico é radial e os vetores normais nas tampas são axiais, ou seja, ambos os vetores são ortogonais. No entanto, ao longo da superfície lateral, o fluxo elétrico pode ser obtido pelo produto do campo pela área, pois os dois vetores são paralelos. Algebricamente podemos representar essa informação da seguinte forma:

$$E * 2\pi rh = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{h} \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (25)$$

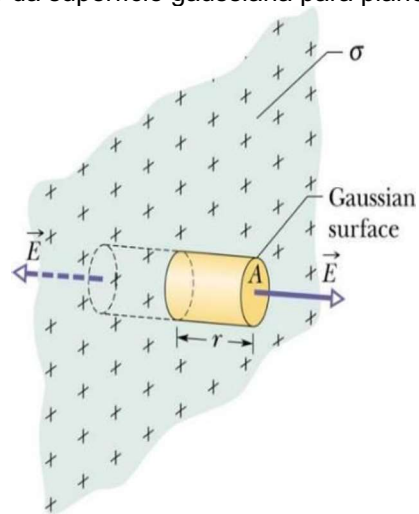
Analisando a equação (25), vemos que para uma linha infinita de cargas homogeneamente distribuídas tanto q_{int} quanto h tendem ao infinito, porém a razão entre essas duas grandezas é finita, chamada de densidade linear de cargas (λ), definida na equação (11).

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (26)$$

Cabe destacar que na prática, uma linha infinita de cargas descreve uma situação praticamente impossível de ser realizada, em função da sua dimensão infinita e da necessidade de transferir infinitas cargas para essa linha. No entanto, representa um modelo apropriado para analisar os casos em que $r \ll h$, ou seja, quando a linha é finita e deseja-se determinar o campo em um ponto próximo do centro dessa linha.

Campo de um plano infinito de cargas: Assim como no caso descrito acima, este modelo é usado para tratar os casos em que deseja-se determinar o campo elétrico em uma distância d , muito próxima do centro de um plano que possui dimensões finitas, muito maiores que d . A partir deste modelo, podemos analisar algumas situações que derivam diferentes resultados.

Figura 67: Representação da superfície gaussiana para plano infinito de cargas.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

Caso 1: Plano muito fino (Isolante ou condutor). Nesta situação a carga depositada homogeneamente no plano correlacionada com sua área resulta em uma densidade de cargas superficiais constante - conforme a equação (12) – que gera fluxo elétrico para ambos os lados do plano, conforme a Figura 41.

Ao contrário do caso anterior, nesta situação as duas áreas circulares do cilindro (πr^2 cada) serão atravessadas perpendicularmente pelo fluxo elétrico, enquanto que ao longo da superfície lateral o fluxo será nulo. Aplicando a Lei de Gauss nessa situação teremos:

$$E * A * \cos 0 + E * A * \cos 0 = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E(2)A = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{2\epsilon_0 A}$$

Usando a equação (12), $\sigma = q/A$, temos:

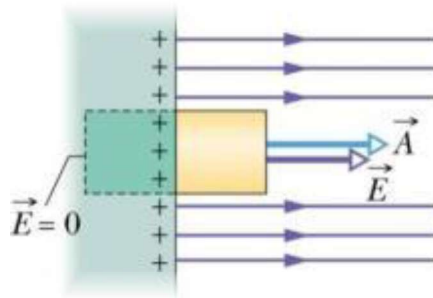
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (27)$$

Cabe destacar da equação (27) que o campo elétrico não depende da distância do plano, desde que o modelo “plano infinito” seja respeitado, ou seja, as dimensões do plano de cargas devem ser muito maiores do que a distância com o plano onde o campo será determinado. Como o campo neste caso não depende da

posição, ele é dito constante, ou seja, as linhas de campo serão igualmente espaçadas, perpendiculares ao plano. Dessa forma, uma partícula de carga elétrica q e massa m imersa neste campo, sentirá uma força que também será constante. Como a força elétrica será constante nesta situação, a aceleração também será constante, e sendo assim, podemos aplicar todas as equações da cinemática, características do Movimento Retilíneo Uniformemente Variado (MRUV), na direção do campo elétrico, colinear à força e à aceleração.

Caso 2: Plano condutor espesso. Neste caso, em cada uma das faces do plano infinito será estabelecida uma densidade de cargas σ constante, que será responsável por gerar um fluxo elétrico saindo do plano, conforme descreve a Figura 42.

Figura 68: Representação da superfície gaussiana para plano infinito condutor e espesso de cargas.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

Sendo assim, a densidade de cargas será capaz de gerar um fluxo elétrico em apenas uma das faces circulares e nas demais faces o fluxo será nulo. Neste caso, a Lei de Gauss será expressa por:

$$E * A * \cos 0 = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

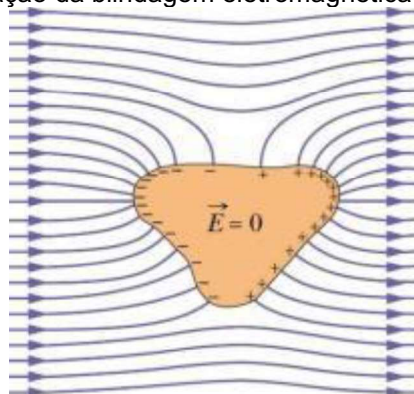
$$E = \frac{q_{int}}{A \epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (28)$$

Cabe ressaltar que nesta situação a densidade de carga concentrada apenas nas faces do plano gerará um campo elétrico, assim como um fluxo, que será o dobro daquela gerada quando o plano é muito fino. Uma consequência direta dessa verificação está relacionada com a repulsão Coulombiana e com a Lei de Gauss, gerando no interior dos condutores uma região ausente de cargas responsável pela

blindagem eletrostática, ou seja, uma região onde o campo elétrico é nulo, conforme mostra a Figura 43.

Figura 69: Representação da blindagem eletromagnética em condutores.



Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

A verificação experimental da blindagem eletromagnética ocorreu por meio de um experimento chamado “*Gaiola de Faraday*”, em homenagem ao seu idealizador, Michael Faraday (1791-1867), que em 1836 se posicionou dentro de uma gaiola metálica que foi submetida a fortes descargas elétricas, nada acontecendo a ele. Sendo assim, Faraday demonstrou que nos condutores todo excesso de cargas se distribui na superfície externa, deixando seu interior isento de cargas elétricas - o que resulta em campo elétrico nulo nessa região - prevenindo de descargas elétricas. Este mesmo fenômeno justifica a utilização de gabinetes metálicos, empregados para proteger os circuitos de equipamentos eletrônicos que não podem ser submetidos às influências de campos elétricos externos. Além disso, é devido à blindagem eletrostática que, abrigar-se dentro de um carro ou um avião durante uma tempestade garante a proteção e segurança de pessoas contra os danos causados pelas descargas elétricas originadas por raios.

Tendo em vista reforçar os conceitos relacionados com o comportamento das cargas em diferentes materiais, de blindagem eletromagnética, foi desenvolvida a Atividade 7, que pode ser conduzida em sala ou no laboratório de Física.

Atividade 7: A blindagem eletromagnética.

Nesta atividade, os alunos organizados em pequenos grupos (4 ou 5 alunos) serão convidados a testar a capacidade de blindagem que diferentes materiais possuem, tendo em vista a influência causada pelas cargas elétricas externas. Para

tanto serão necessários os seguintes materiais de baixo custo:

Peneira de plástico;

Peneira de metal;

Pedaços de papel;

Cano de PVC ou balão de borracha;

Dois celulares que possam realizar e receber ligações;

Caixa (com tamanho que o celular caiba dentro);

Sacola plástica (com tamanho que a caixa caiba dentro);

Plástico para embalar alimentos (aproximadamente 20 x 30 cm);

Papel alumínio (aproximadamente 20 x 30 cm).

A atividade deve ser iniciada solicitando aos alunos que coloquem pedaços de papel picado em pequenos pedacinhos em baixo das duas peneiras (de plástico e metálica). Aproximando o cano de PVC, previamente eletrizado por meio de atrito (com papel toalha por exemplo), é solicitado aos alunos que expliquem, com base nos conceitos físicos, o que acontece em cada uma das situações.

Tendo compreendido apenas os materiais condutores são capazes de blindar o campo externo em função da mobilidade de cargas elétricas, as discussões foram ampliadas de modo a analisar o que acontece com o aparelho celular quando está envolto a diferentes materiais (caixa de papelão, sacola plástica, plástico de embalar e papel alumínio). Os alunos foram capazes de constatar o aparelho celular deixou de receber chamadas apenas quando foi embrulhado com papel alumínio, blindando o sinal eletromagnético independente da operadora de telefone.

Exercícios propostos

5.1) (UFRN-RN) Mauro ouviu no noticiário que os presos do Carandiru, em São Paulo, estavam comandando, de dentro da cadeia, o tráfico de drogas e fugas de presos de outras cadeias paulistas, por meio de telefones celulares. Ouviu também que uma solução possível para evitar os telefonemas, em virtude de ser difícil controlar



a entrada de telefones no presídio, era fazer uma blindagem das ondas eletromagnéticas, usando telas de tal forma que as ligações não fossem completadas. Mauro ficou em dúvida se as telas eram metálicas ou plásticas.

Resolveu, então, com seu celular e o telefone fixo de sua casa, fazer duas experiências bem simples.

1 – Mauro lacrou um saco plástico com seu celular dentro. Pegou o telefone fixo e ligou para o celular. A ligação foi completada.

2 – Mauro repetiu o procedimento, fechando uma lata metálica com o celular dentro. A ligação não foi completada.

O fato de a ligação não ter sido completada na segunda experiência, justifica-se porque o interior de uma lata metálica fechada

- a) permite a polarização das ondas eletromagnéticas diminuindo a sua intensidade.
- b) fica isolado de qualquer campo magnético externo.
- c) permite a interferência destrutiva das ondas eletromagnéticas.
- d) fica isolado de qualquer campo elétrico

5.2) (UFF-RJ) Considere a seguinte experiência: “Um cientista construiu uma grande gaiola metálica, isolou-a da Terra e entrou nela. Seu ajudante, então, eletrizou a gaiola, transferindo-lhe grande carga.” Pode-se afirmar que:



- a) o cientista nada sofreu, pois o potencial da gaiola era menor que o de seu corpo.
- b) o cientista nada sofreu, pois o potencial de seu corpo era o mesmo que o da gaiola.
- c) permite a interferência destrutiva das ondas eletromagnéticas.
- d) fica isolado de qualquer campo elétrico

5.3) (AFA-RJ) Durante tempestade, um raio atinge um avião em vôo. Pode-se afirmar que a tripulação:



a) não será atingida, pois aviões são obrigados a portar um para-raios em sua fuselagem.

b) será atingida em virtude de a fuselagem metálica ser boa condutora de eletricidade.

c) será parcialmente atingida, pois a carga será homogeneamente distribuída na superfície interna do avião.

d) não sofrerá dano físico, pois a fuselagem metálica atua como blindagem.

5.4) (FMTM-MG) A seção transversal de um condutor em equilíbrio eletrostático carregado positivamente tem uma forma de pêra, conforme mostra a figura. Considere dois pontos A e B em sua superfície e as seguintes informações a seu respeito:



- I. A e B estão submetidos ao mesmo potencial.
- II. O vetor campo elétrico E tem a mesma intensidade em A e B.
- III. O vetor campo elétrico E resultante no interior do condutor é nulo.

Das afirmativas acima:

- a) Apenas II está correta.
- b) Apenas II e III estão corretas.
- c) Apenas I e II estão corretas.
- d) Apenas I e III estão corretas.
- e) I, II e III estão corretas.

6.6 TÓPICO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DO QUESTIONÁRIO INICIAL.

Previsão de duração: 02 horas/aula.

Considerando que os conceitos abordados neste plano de unidade são abordados de maneira superficial com os alunos de Ensino Médio, ao final de todas as atividades desenvolvidas e de suas discussões, esperamos que os alunos tenham compreendido com clareza e profundidade a aplicação dos conteúdos relacionados com a Lei de Coulomb e a Lei de Gauss na Educação Básica.

Para tanto, o questionário final (que segue em anexo) foi aplicado aos alunos com objetivo de avaliar o processo de ensino-aprendizagem dos estudantes envolvidos, bem como, identificar possíveis lacunas de conteúdos e propor melhorias para este material. Ao final, o questionário foi recolhido e as dúvidas restantes foram discutidas entre todos os participantes desta pesquisa.

Com isso, esperamos que os estudantes sejam capazes de identificar e compreender com profundidade os processos de eletrização e blindagem eletrostática relacionados ao cotidiano. No caso do conceito de Força Elétrica e Campo Elétrico, entendemos que os alunos possam ter algumas dificuldades no desenvolvimento das equações. Assim sendo, com a realização deste trabalho acreditamos que ao final dos estudos, os alunos estejam familiarizados com os conceitos aplicados aos fenômenos cotidianos que envolvem a eletrostática e possam ser capazes de correlacionar o conhecimento científico de maneira adequada nas explicações desses fenômenos.

7. PRÁTICA SOCIAL FINAL

A prática social final consiste na retomada da prática social, agora com uma compreensão mais ampla, crítica e sintética da realidade. A prática social final está relacionada diretamente com a prática social inicial, porém com uma diferença: se antes o conhecimento da realidade era apenas do senso comum, agora foi adquirido um conhecimento elaborado, uma aprendizagem científica, portanto a ação do educando na sociedade deverá ser evidenciada no seu dia-a-dia, mostrando uma disposição em pôr em prática o novo conhecimento.

Com esse trabalho, tivemos o intuito de apresentar uma proposta alternativa de atividades que viessem a colaborar para o desenvolvimento dos conteúdos de Lei de Coulomb e Lei de Gauss no Ensino Médio. Porém sabemos que o caminho ainda é muito vasto e transformar o ensino da Física em um modelo a ser seguido, é algo ainda um pouco distante da nossa realidade. Enquanto professores, consideramos que promover discussões, criar situações onde o aluno possa ser inserido, baseada em aulas interativas, materiais diferenciados com práticas experimentais e recursos tecnológicos envolvendo simuladores de campo e força elétrica, interagindo com situações cotidianas é o primeiro passo para conseguirmos formar cidadãos críticos a interagir perante a sociedade, visando contribuir para as melhorias no processo de ensino-aprendizagem dos alunos. Entendemos que o modelo tradicional também teve e em muitas situações ainda possui o seu mérito, porém sabemos que a transmissão de informações e resoluções de exercícios onde o aluno se situa como mero ouvinte precisa ter um novo olhar. A nossa proposta de trabalho, levou em consideração essas diferentes vertentes, onde utiliza materiais simples e de fácil acesso, fornecendo auxílio aos professores e alunos, contribuindo para uma melhor compreensão dos conteúdos trabalhados em sala de aula, bem como para mostrar a importância desses conteúdos com o cotidiano do aluno.

Entendemos que uma proposta didático-pedagógica não pode, por si só, garantir a melhoria da qualidade do processo de ensino-aprendizagem no âmbito da educação básica, uma vez que tal qualidade depende direta e/ou indiretamente de diversos fatores macro e micro – tais como os aspectos sociais, políticos, financeiros, de valorização da carreira do magistério, das condições objetivas e materiais das escolas, da organização e gestão da educação, entre outros – que

extrapolam programas, métodos ou simples estratégias de ensino. Todavia, consideramos igualmente importante a análise do processo educativo como fenômeno concreto – ou seja, tal como ele se dá efetivamente no interior da sala de aula, bem como a forma como esse processo é desenvolvido, sem deixar de lado a busca pelo conhecimento, onde a aprendizagem não se encerra ao término da aula, mas que o aluno possa refletir ao longo de sua carreira de formação profissional.

REFERÊNCIAS

BACHELARD, Gastón. **A formação do espírito científico: contribuição para uma psicanálise do conhecimento**. Rio de Janeiro: Contraponto, 1996.

BORGES, A. T. **Como Evoluem os modelos mentais**. Ensaio-Pesquisa em Educação em Ciências. Belo Horizonte. Vol. 1, Nº 1, 1999.

CARVALHO, S.; ZANETIC, J. **Ciência e arte, razão e imaginação: complementos necessários à compreensão da física moderna**. 2004. In: ENCONTRO DE PESQUISADORES EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas. Anais... São Paulo: SBF, 2004.

HALLIDAY, D. RESNICK, R. WALKER, J. **Fundamentos de Física. Volume 3: Eletromagnetismo**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

MONTEIRO, I. C. C.; GASPAR, A. **Atividades experimentais de demonstração em sala de aula: uma análise segundo o referencial da teoria de Vigotski**. Investigações em Ensino de Ciências, v. 10, n. 2, p. 2, 2005.

OSTERMANN, F.; MOREIRA, M. A. **Uma revisão bibliográfica sobre a área de pesquisa “física moderna e contemporânea” no ensino médio**. Investigações em Ensino de Ciências, Porto Alegre, v.5, n.2, paginação eletrônica, 2000.

SERWAY, Raymond A.; John W. Jewett, Jr. ; **Princípio de Física**. Tradução EZ2 Translate; revisão técnica Sergio Roberto Lopes. -- São Paulo: Cengage Learning, 2014.

SABA, Marcelo M. F.; **A Física das tempestades e dos Raios**. Física na Escola, v. 2, n. 1, 2001

APÊNDICE B: Termo De Consentimento Livre Esclarecido



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA (MNPEF)

Você está sendo convidado a participar da pesquisa **“UMA ALTERNATIVA PARA O ENSINO DA LEI DE COULOMB E DA LEI DE GAUSS NA EDUCAÇÃO BÁSICA”**, sob responsabilidade da pesquisadora Luciane Sant’Ana, de seu orientador Prof. Dr. Cesar Vanderlei Deimling.

O objetivo deste estudo consiste em elaborar, desenvolver e avaliar uma proposta Didático - pedagógica para o ensino do conteúdo da Lei de Coulomb e da Lei de Gauss na disciplina de Física do Ensino Médio, o qual, apesar de sua relevância, tem sido pouco discutido atualmente com os estudantes em sala de aula. Você foi selecionado porque atende a todos o critério de seleção dos participantes da pesquisa, ou seja, é estudante da disciplina de Física e está regularmente matriculado no terceiro ano do Ensino Médio.

Sua participação não é obrigatória e a qualquer momento você poderá desistir de participar e retirar seu consentimento. A sua recusa na participação não trará nenhum prejuízo à sua relação com a pesquisadora ou com a Unidade Escolar na qual você estuda.

Sua participação consistirá no acompanhamento, assiduidade e envolvimento nas atividades que serão desenvolvidas pelo próprio pesquisador em sala de aula, com estudantes do terceiro ano do Ensino Médio, sobre o tema de sua Dissertação de Mestrado, segundo objetivo explicitado acima.

A pesquisa será desenvolvida no Colégio Estadual do Campo Evaldo Talyuly distrito de Luz Marina e Colégio Estadual São Pedro ambos no município de São Pedro do Iguaçu, Colégio Estadual Novo Horizonte no município de Toledo, pertencentes ao Núcleo Regional de Ensino de Toledo, em turma do terceiro ano regular do Ensino Médio, no âmbito da disciplina de Física. Essas atividades serão desenvolvidas somente com a autorização do(a) diretor(a) da Unidade Escolar.

Seu consentimento em participar não acarretará desconfortos, gastos financeiros ou riscos de ordem psicológica, física, moral, acadêmica ou de outra natureza. Sua participação, ao contrário, poderá trazer benefícios, pois você estará participando de uma pesquisa que busca proporcionar aos estudantes da educação básica a compreensão da relação entre os conteúdos científicos estudados na escola e a realidade social mais ampla em que se encontram inseridos, bem como a problematização dessa realidade, em suas diferentes dimensões. Ademais, visamos com este trabalho favorecer a ampliação dos conhecimentos culturais dos estudantes, a fim de que, munidos desses conhecimentos, eles possam utilizá-los como elementos ativos de transformação social.

Os dados da pesquisa serão coletados a partir do desenvolvimento das atividades teórico - experimentais que serão realizadas em sala de aula pela própria pesquisadora e poderão ser gravadas em um aparelho de gravação de áudio. Todas as informações obtidas por meio dessa pesquisa serão confidenciais e asseguramos o sigilo sobre sua participação.

Os resultados serão utilizados para a conclusão da pesquisa acima citada. Os dados coletados durante o estudo serão analisados e apresentados sob a forma de relatórios e serão divulgados por meio de trabalhos apresentados em reuniões científicas, periódicos e da própria Dissertação de Mestrado.

LUCIANE SANT'ANA
Assinatura da Pesquisadora

Eu,____, declaro que entendi os objetivos e benefícios de minha participação na pesquisa e concordo em participar.

_____, ____ de _____ de 2019.

Assinatura do aluno (a)

Assinatura e carimbo do(a) diretor(a) da Unidade Escolar

APÊNDICE C: Questionário Inicial



Mestrado em ensino de Física

Questionário inicial para levantamento de dados sobre:

LEI DE COULOMB E LEI DE GAUSS (FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO).

Colégio Estadual _____

Aluno (a): _____ nº _____ 3º _____

Responda conforme o seu entendimento.

1) Por que as vezes levamos choques ao tocar em objetos de metal?

2) O átomo é composto de elétrons, prótons e nêutrons. a) Qual é a carga positiva, a negativa e a neutra? B) Qual carga faz parte do núcleo do átomo? C) Qual carga que é removida ou fornecida nos processos envolvendo eletrização?

a) _____

b) _____

c) _____

3) a) Qual a diferença entre raios e trovões? b) Qual é percebido primeiro: o relâmpago ou o trovão? c) Porque são gerados os raios e trovões? Justifique as respostas.

a) _____

b) _____

c) _____

4) Explique a razão de os cabelos se arrepiarem ao tirar a blusa de lã.

5) A estrutura metálica do carro protege o motorista de um raio. Por que isso acontece?

6) Quais são as condições climáticas favoráveis à ocorrência de raios?

7) Cite exemplos de materiais condutores e isolantes:

8) Explique por que quando se vai fazer uma pintura eletrostática ou seja a base de pó

epóxi, é necessário que as partículas de tinta sejam ionizadas para a realização de um bom trabalho.

9) Um para-raios consiste em uma haste metálica, ligada à terra por um fio grosso metálico. Por que o para-raios deve ser posicionado em um local mais elevado?

10) Relacione a primeira coluna de acordo com a segunda coluna:

- 1) Suas contribuições à ciência vão desde as criações: do motor elétrico, do transformador, do transformador, do gerador elétrico e do dínamo até as leis da eletrólise e o efeito Faraday, foi um dos maiores cientistas experimentais de todos os tempos () Daniel Gabriel Fahrenheit.
- 2) Dos estudos da gravitação e do movimento dos corpos, fez descobertas sobre a composição da luz em estudos em química, geometria, teologia, alquimia filosofia. () Isaac Newton.
- 3) Inventor do termômetro por dilatação do mercúrio da Fahrenheit. () Benjamin Franklin
- 4) Comprovou a existência de dois tipos de força elétrica: uma de atração e a outra de repulsão.
- 5) Atribuem-se a ele a invenção do para-raios e a introdução dos termos positiva e negativa para referir-se às cargas elétricas. () Charles Augustin Coulomb.

() Michael Faraday.

APÊNDICE D: Questionário Final



Mestrado em ensino de Física

Questionário Final para levantamento de dados sobre:

LEI DE COULOMB E LEI DE GAUSS (FORÇA ELÉTRICA E CAMPO ELÉTRICO).

Colégio Estadual _____

Aluno (a): _____ nº _____ 3º _____

Responda conforme o seu entendimento.

1) Por que as vezes levamos choques ao tocar em objetos de metal?

2) O átomo é composto de elétrons, prótons e nêutrons. a) Qual é a carga positiva, a negativa e a neutra? B) Qual carga faz parte do núcleo do átomo? C) Qual carga que é removida ou fornecida nos processos envolvendo eletrização?

a) _____

b) _____

c) _____

3) a) Qual a diferença entre raios e trovões? b) Qual é percebido primeiro: o relâmpago ou o trovão? c) Porque são gerados os raios e trovões? Justifique as respostas.

a) _____

b) _____

c) _____

4) Explique a razão de os cabelos se arrepiarem ao tirar a blusa de lã.

5) A estrutura metálica do carro protege o motorista de um raio. Por que isso acontece?

6) Quais são as condições climáticas favoráveis à ocorrência de raios?

7) Cite exemplos de materiais condutores e isolantes:

8) Explique por que quando se vai fazer uma pintura eletrostática ou seja a base de pó epóxi, é necessário que as partículas de tinta sejam ionizadas para a realização de um bom

trabalho.

9) Um para-raios consiste em uma haste metálica, ligada à terra por um fio grosso metálico. Por que o para-raios deve ser posicionado em um local mais elevado?

10) Relacione a primeira coluna de acordo com a segunda coluna:

- 1) Suas contribuições à ciência vão desde criações: do motor elétrico, do transformador, transformador, do gerador elétrico e do dínamo até leis da eletrólise e o efeito Faraday, foi um dos maiores cientistas experimentais de todos os tempos. () Daniel Gabriel Fahrenheit.
- 2) Dos estudos da gravitação e do movimento dos corpos, fez descobertas sobre a composição da luz e estudos em química, geometria, teologia, alquimia e filosofia. () Isaac Newton.
- 3) Inventor do termômetro por dilatação do mercúrio da Fahrenheit. () Benjamin Franklin
- 4) Comprovou a existência de dois tipos de força elétrica: uma de atração e a outra de repulsão.
- 5) Atribuem-se a ele a invenção do para-raios e a introdução dos termos positiva e negativa para referir-se às cargas elétricas. () Charles Augustin Coulomb.

() Michael Faraday.