

MNPEF
Mestrado Nacional
Profissional em
Ensino de Física

UTFPR
UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ



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

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 Coulomb e da Lei de Gauss na educação básica / Luciane Sant'Ana. – Campo Mourão, 2020.
1 arquivo eletrônico (100 f) : PDF ; 1,6 MB.

Modo de acesso: World Wide Web.
Inclui bibliografia: f. 64-70

1. Lei de Coulomb. 2. Lei de Gauss. I. Deimling, Cesa Vandelei II. Título.

CDD (22.ed.) 530.07

Biblioteca da UTFPR - Câmpus Campo Mourão

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

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.	19
Figura 2: Raios em um vulcão.....	20
Figura 3: Cristo Redentor sendo atingido por um raio.....	21
Figura 4: Representação do modelo atômico de Bohr	23
Figura 5: Interação entre cargas elétricas	25
Figura 6: Exemplos de materiais condutores	27
Figura 7: Exemplos de materiais isolantes elétricos comercialmente disponíveis.....	28
Figura 8: Circuito eletrônico apresentando aplicação dos dispositivos semicondutores.....	28
Figura 9: Levitação magnética a partir de um supercondutor resfriado abaixo de T_c	29
Figura 10: Esquema de montagem da atividade prática: Classificando diferentes materiais.....	30
Figura 11: Determinação do tipo de carga gerada no processo de eletrização por atrito.	33
Figura 12: Esquema de montagem da atividade 3.....	35
Figura 13: Eletrização por contato.....	36
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.....	38
Figura 15: Esquema para eletrização por indução com carga de mesmo sinal do indutor.	39
Figura 16: Esquema ilustrando a polarização de um material isolante.	39
Figura 17: Esquema ilustrando o processo de pintura eletrostática.....	40
Figura 18: Ilustração de alguns componentes da máquina fotocopadora.	41
Figura 19: Ilustração de um eletroscópio	42
Figura 20: Orientação da força elétrica.	46
Figura 21: Força elétrica entre esferas carregadas.....	50
Figura 22: Força elétrica nula quando a partícula carregada está localizada no interior de uma casca esférica.....	51
Figura 23: Força elétrica em uma partícula carregada q_2 localizada no interior de uma casca esférica isolante.....	51
Figura 24: Definição de campo elétrico	55

Figura 25: Campo elétrico para cargas orientadas sobre uma única reta.	56
Figura 26: Representação esquemática da soma de vetores – Lei dos Cossenos. ...	57
Figura 27: Representação esquemática de vetores no plano.	59
Figura 28: Representação esquemática de um vetor no plano – Método Gráfico.	60
Figura 29: Representação dos vetores de campo elétrico no plano cartesiano. Detalhe dessa Figura representa a regra do paralelogramo.	62
Figura 30: Representação da distribuição de cargas descrita no exemplo acima.	65
Figura 31: Representação dos vetores radiais e axiais de campo elétrico no eixo do anel carregado uniformemente.	66
Figura 32: Representação da distribuição linear de cargas do exemplo 05.	70
Figura 33: Interface para montagem do cenário e definição da posição da carga de prova (em preta).	72
Figura 34: Interface para escolha das grandezas físicas que serão calculadas.	73
Figura 35: Imagem de uma simulação do vetor campo elétrico gerado por uma distribuição de cargas contínua e homogênea em um anel.	74
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).	78
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.	79
Figura 38: Representação da superfície gaussiana para uma partícula carregada. .	80
Figura 39: Representação da superfície gaussiana interna a uma esfera uniformemente carregada.	81
Figura 40: Representação da superfície gaussiana para uma linha infinita de cargas.	82
Figura 41: Representação da superfície gaussiana para plano infinito de cargas. ...	84
Figura 42: Representação da superfície gaussiana para plano infinito condutor e espesso de cargas.	85
Figura 43: Representação da blindagem eletromagnética em condutores.	86

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Carga elétrica das partículas subatômicas.....	24
Quadro 2: Ordens de grandeza da carga elétrica.	24
Quadro 3: Representação esquemática de algumas distribuições de cargas elétricas, suas equações e limitações para o uso.	68

SUMÁRIO

CONTEÚDO: ENSINO DA LEI DE COULOMB E LEI DE GAUSS	8
1 OBJETIVO GERAL	9
2. TÓPICOS DE CONTEÚDOS E OBJETIVOS ESPECÍFICOS	10
3. PRÁTICA SOCIAL INICIAL.....	12
4. PROBLEMATIZAÇÃO	13
5. INSTRUMENTALIZAÇÃO	14
5.1 Processos de eletrização.....	15
6. CATARSE	18
6.1 TÓPICO 1: ELETRICIDADE E SUA ORIGEM.....	19
6.2 TÓPICO 2: CONDUTORES E ISOLANTES.....	27
6.2.1 <i>Processos de eletrização.....</i>	32
6.2.1.1 <i>Eletrização por atrito</i>	32
6.2.2 <i>Eletrização por contato.....</i>	36
6.2.3 <i>Eletrização por indução</i>	37
6.3 TÓPICO 3: FORÇA ELÉTRICA.....	45
6.4 TÓPICO 4: CAMPO ELÉTRICO.....	54
6.5 TÓPICO 5: A LEI DE GAUSS.....	77
6.6 TÓPICO 6: CONSIDERAÇÕES FINAIS A RESPEITO DO QUESTIONÁRIO INICIAL.....	90
7. PRÁTICA SOCIAL FINAL.....	91
REFERÊNCIAS.....	93
APÊNDICE A: Termo De Consentimento Livre Esclarecido.....	94
APÊNDICE B: Questionário Inicial.....	96
APÊNDICE C: Questionário Final	98

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 1: Descargas elétricas em uma tempestade¹.



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

¹<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 2: 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 3: 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 (estrondo), 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.

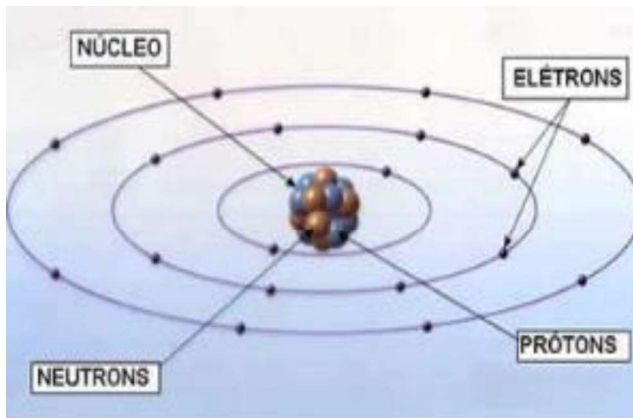
Os conceitos relacionados à carga elétrica estão intimamente relacionados à natureza constituinte da matéria, cuja tentativa inicial de modelagem data do século IV a.C., na Grécia antiga, a partir das ideias de Leucipo e Demócrito, que instituíram o conceito de átomo, ou seja, menor porção divisível 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 4: 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 1: 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)

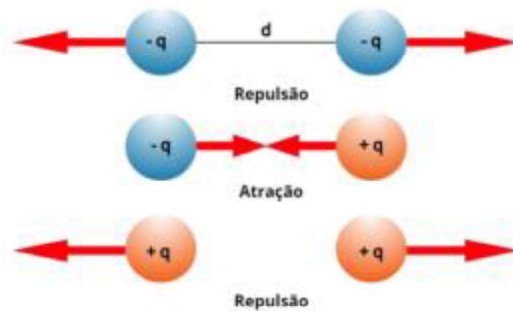
Um corpo é dito como neutro se o número de elétrons for igual ao número de prótons, já que a carga associada ao dois é igual em módulo, conforme descrito no quadro 1. Por outro lado, quando um corpo possui excesso de elétrons, dizemos que ele está eletrizado negativamente e quando possui mais prótons 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 2: 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 5: 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 6: Exemplos de materiais condutores



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

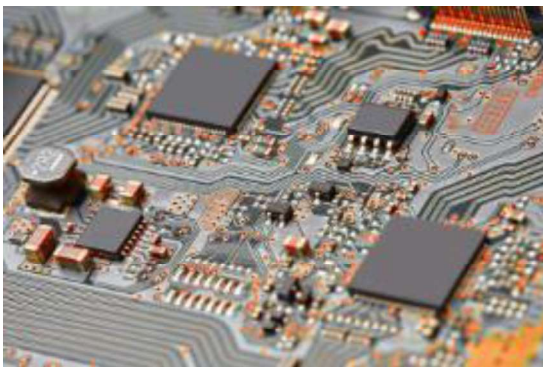
Isolantes: Também conhecidos como não condutores definem a classe de materiais que não permitem o movimento de elétrons em suas estruturas, como por exemplo, a borracha, a madeira, a água pura (H₂O), o vidro, o papel, o ar seco, a lã, a parafina, o plástico, entre outros.

Figura 7: 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 8: 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*² 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).

² 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 9: 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;

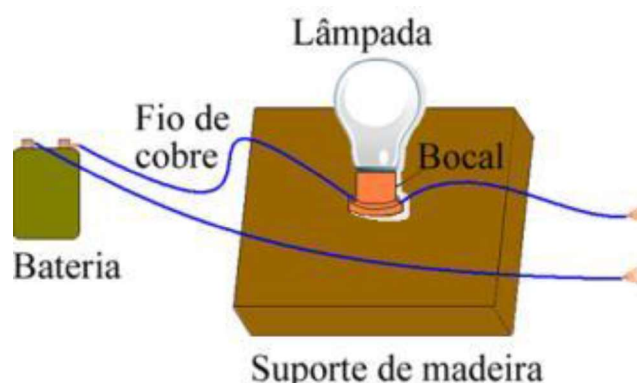
Bateria de 9 ou 12 V;

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 10: 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 11: 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;

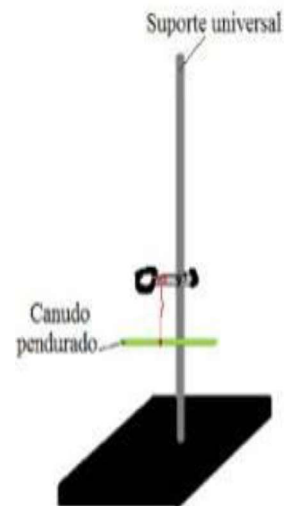
Neste experimento, os alunos organizados em pequenos grupos, deverão amarrar o canudo no suporte universal. Para facilitar essa etapa, o canudo pode ser dobrado ao meio facilitando o equilíbrio conforme indicado na Figura 12.

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 12: 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/eletrizacao/>, 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?

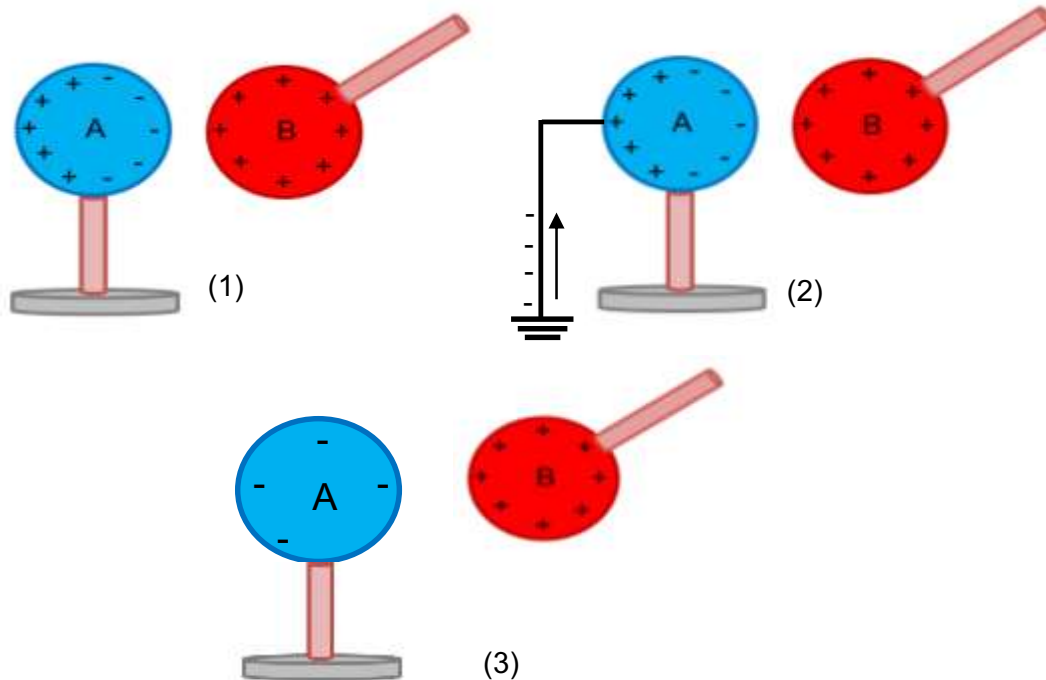
A resposta para essa pergunta será conduzida na seção abaixo.

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 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

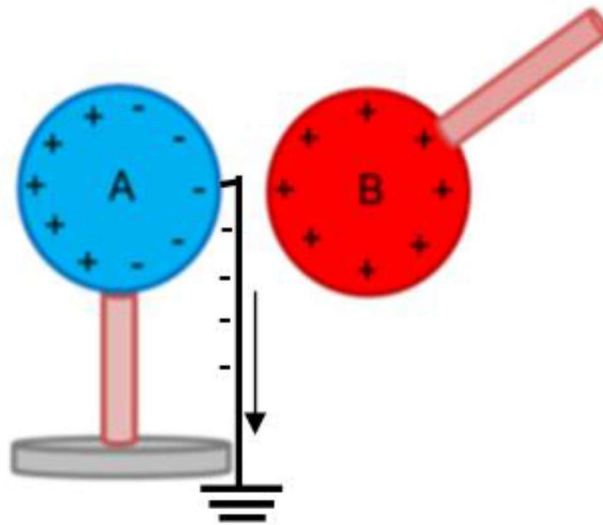


Fonte: Autoria própria

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.

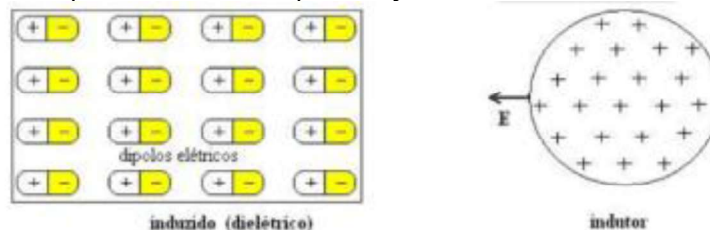
Figura 15: Esquema para eletrização por indução com carga de mesmo sinal do indutor.



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 16: Esquema ilustrando a polarização de um material isolante.

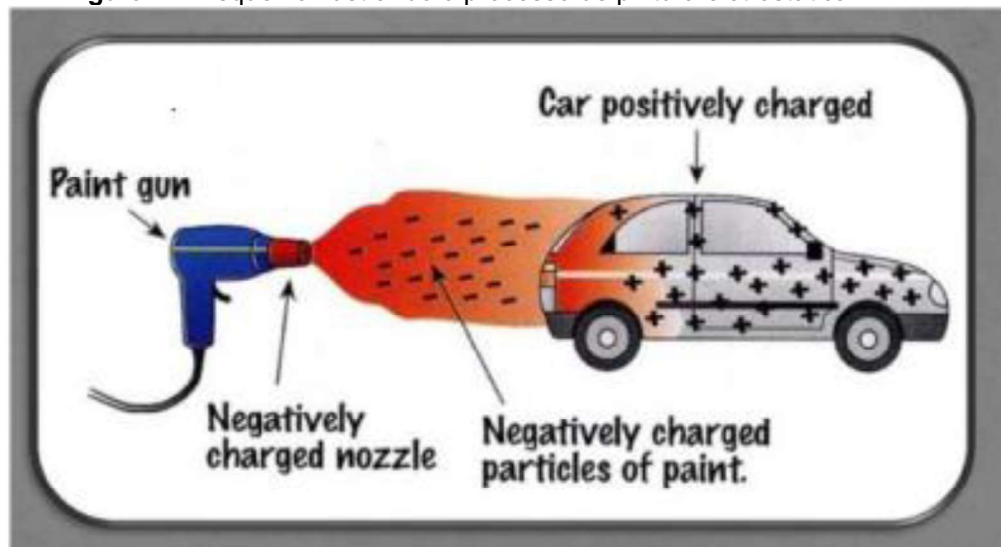


Fonte: <https://www.infoescola.com/fisica/inducacao-elestatica/>, acessado 20/11/2019.

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 17: Esquema ilustrando o processo de pintura eletrostática.

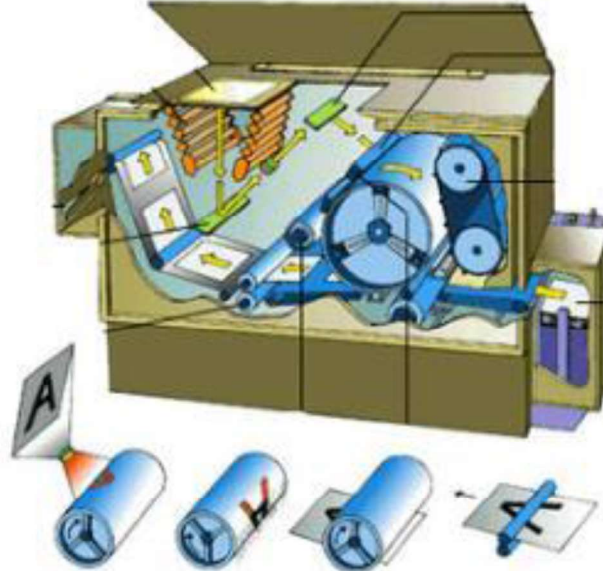


Fonte: <http://www.ufif.br/fisicaecidadania/2013/12/16/o-que-e-e-como-funciona-a-pintura-eletrostatica/>, acessado 20/11/2019.

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 fotocopadora.

Figura 18: Ilustração de alguns componentes da máquina fotocopadora.



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;

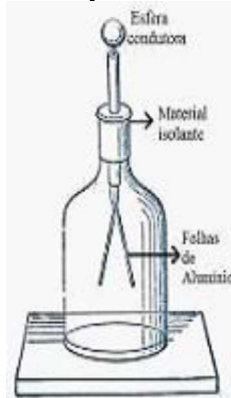
Garrafa transparente ou vidro de conserva;

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 19: 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.

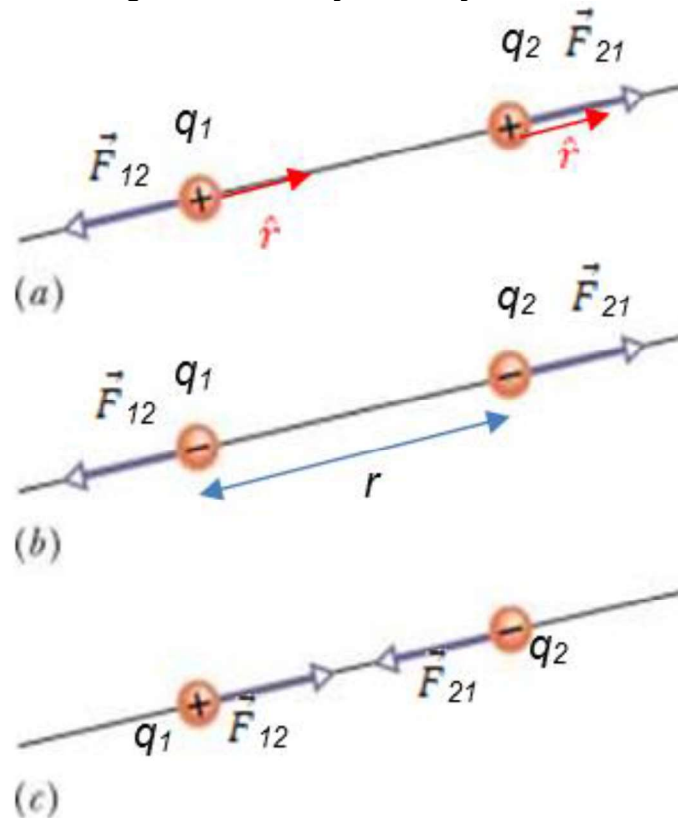
De acordo com Halliday, Resnick, Walker (2009) definem a Lei de Coulomb da seguinte forma: a força elétrica resultante da interação de duas partículas é proporcional ao produto das cargas de cada partícula, e inversamente proporcional ao quadrado da distância que separa cada partícula, conforme descreve 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 20: 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 .

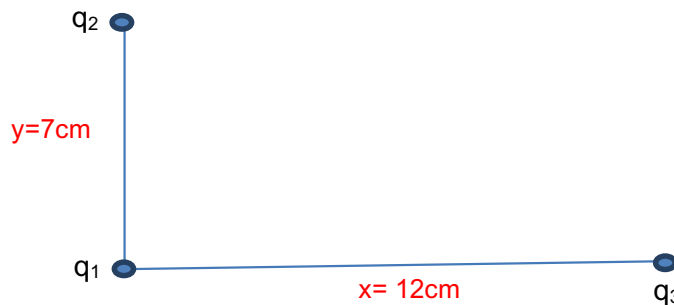
Outra comparação possível de ser realizada é dada entre a força elétrica e a força gravitacional, proposta por Isaac Newton, descrita pela equação 3.

$$\vec{F} = \frac{G \cdot m_1 \cdot m_2}{r^2} \hat{r} \quad (3)$$

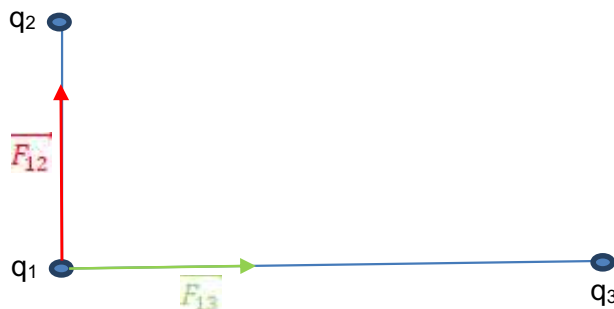
É interessante notar que ambas as forças são dependentes do inverso do quadrado da distância e diretamente proporcionais à carga ou a massa, porém no caso da gravitação, não existirá situações em que a força será repulsiva.

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:

$$|\vec{F}_{12}| = \frac{kq_1q_2}{y^2}$$

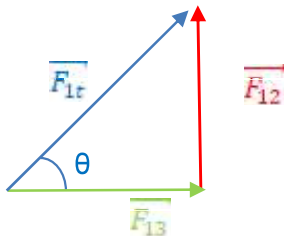
$$|\vec{F}_{12}| = \frac{(8,99 * 10^9)(5 * 10^{-9})(3 * 10^{-9})}{(0,07)^2} = 27,5 * 10^{-6} N$$

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:

$$\tan(\theta) = \frac{|\vec{F}_{12}|}{|\vec{F}_{13}|}$$

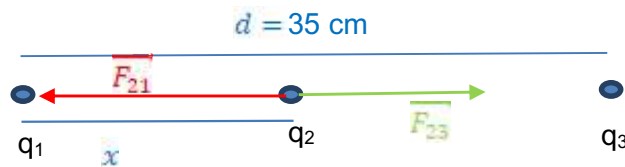
$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{|27,5 * 10^{-6}|}{|25 * 10^{-6}|}\right)$$

$$\theta = 47,7^\circ$$

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).

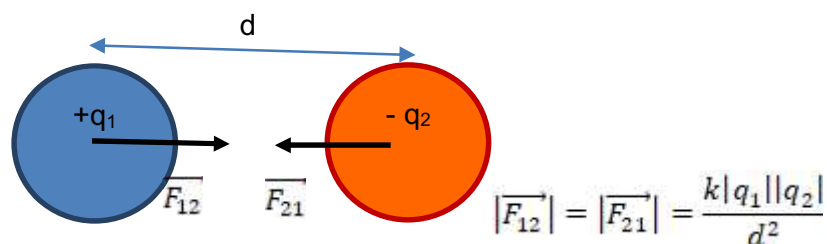
Como podemos notar, nos exemplos acima, obtemos a força elétrica aplicada em uma partícula carregada em função de outras partículas carregadas presentes na vizinhança. Uma situação parecida ocorre quando consideramos que a carga atribuída a cada uma das partículas esteja distribuída em esferas. Neste 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 21: Força elétrica entre esferas carregadas.



Fonte: Autoria própria.

Situação 2:

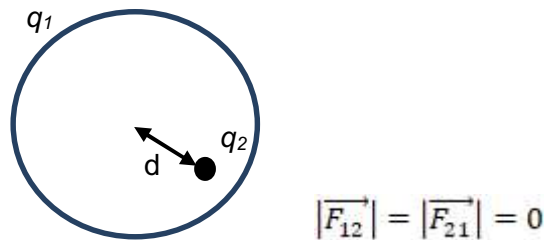
A força elétrica será nula entre uma partícula carregada e uma casca esférica homoganeamente carregada sempre que a partícula estiver ocupando uma posição localizada no interior da casca.

:

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



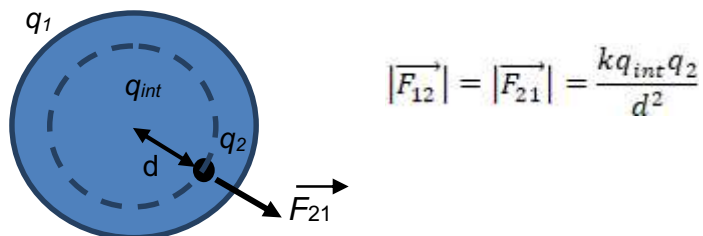
Fonte: Autoria própria.

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



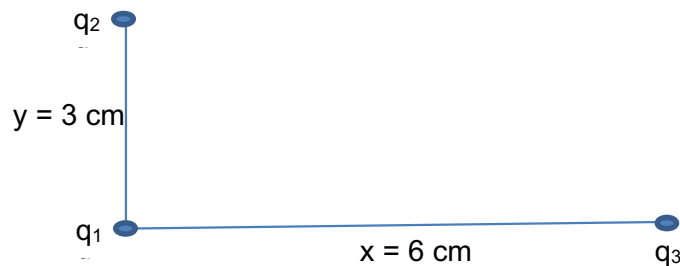
Fonte: Autoria própria.

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 $y = 3 \text{ cm}$.

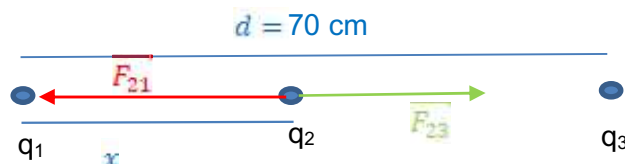


Dica: para solucionar o problema devemos considerar a interação entre as cargas 1 e 2, gerando a força F_{12} , bem como a interação entre as cargas 1 e 3, gerando F_{13} , conforme segue representado no diagrama abaixo.



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.

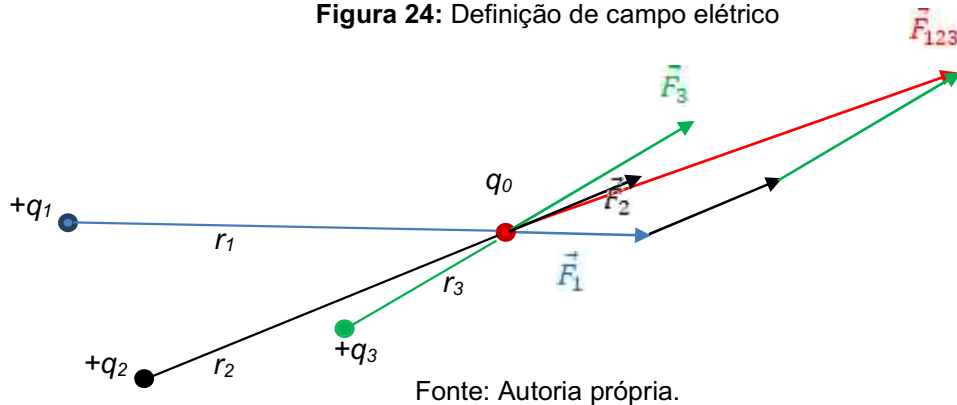
Este tópico será iniciado a partir da contextualização dos conteúdos de força elétrica trabalhados anteriormente. Neste sentido, um debate inicial foi conduzido, e para tanto, utilizamos as perguntas elencada abaixo;

- 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 24: Definição de campo elétrico



$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_0} \quad (4)$$

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.

$$\begin{aligned} \vec{E}_{tot} &= \frac{kq_1q_0}{q_0(r_1)^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2q_0}{q_0(r_2)^2} \hat{r}_2 + \frac{kq_3q_0}{q_0(r_3)^2} \hat{r}_3 \\ \vec{E}_{tot} &= \frac{kq_1}{(r_1)^2} \hat{r}_1 + \frac{kq_2}{(r_2)^2} \hat{r}_2 + \frac{kq_3}{(r_3)^2} \hat{r}_3 \end{aligned} \quad (6)$$

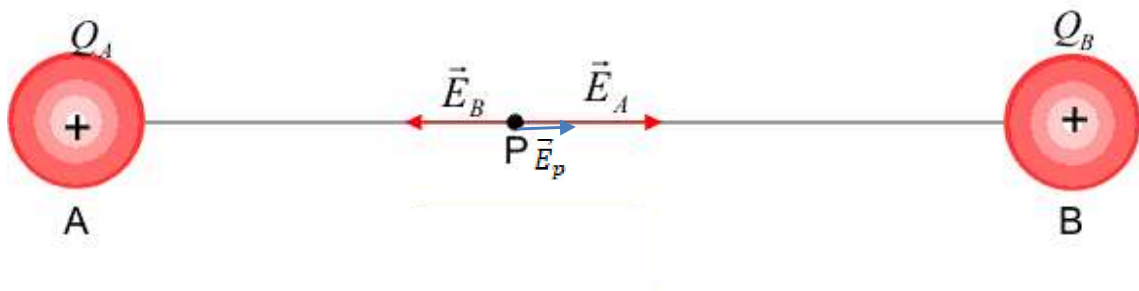
Considerando apenas uma partícula com carga q , podemos obter uma versão mais simplificada da equação 6 para o módulo do campo elétrico no ponto p distante r da carga q , correspondente à versão da Lei de Coulomb para o campo elétrico.

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

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.

Figura 25: Campo elétrico para cargas orientadas sobre uma única reta.



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.

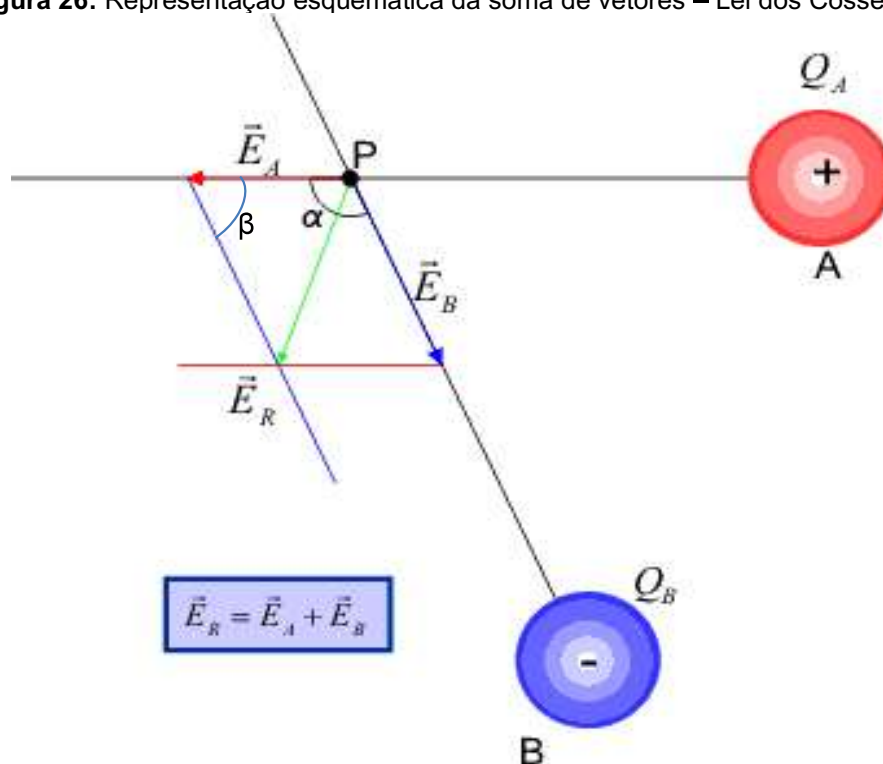
A primeira regra - a lei dos cossenos – pode ser utilizada para obter o módulo do campo elétrico a partir do módulo de 2 vetores de campo e do ângulo entre eles. A Figura 26 ilustra duas cargas puntiformes (A e B) que geram vetores de campo (E_A e E_B) no ponto P . Podemos notar a formação de um triângulo 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 26: Representação esquemática da soma de vetores – Lei dos Cossenos.



Fonte: <https://www.sofisica.com.br/conteudos/Eletromagnetismo/Eletrstatica/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.

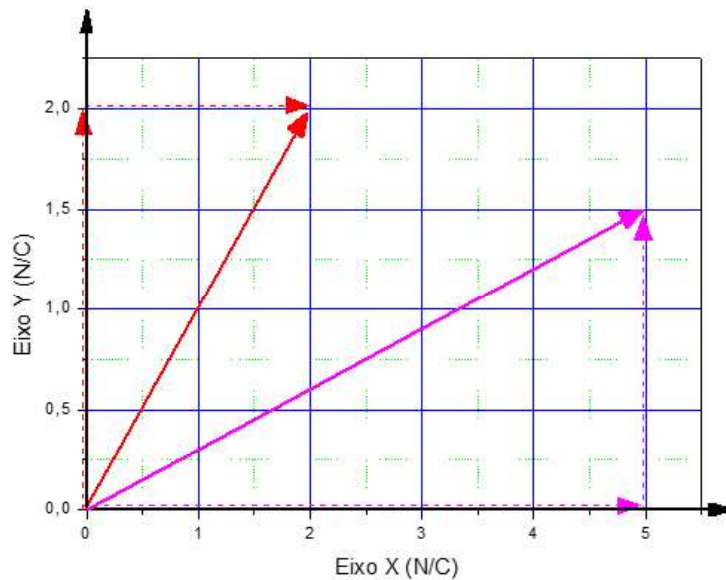
Com base em um plano cartesiano, conforme representado na Figura 27, podemos representar um vetor por meio das suas projeções em cada um dos eixos, ou seja, as medidas que cada vetor possui considerando cada um dos eixos partindo da sua origem e chegando a sua extremidade. Para tanto, usamos uma representação 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 27: Representação esquemática de vetores no plano.



$$\begin{aligned} |\vec{E}_1|^2 &= 2^2 + 2^2 \\ |\vec{E}_1| &= 2,82 \text{ N/C} \\ |\vec{E}_2|^2 &= 5^2 + 1,5^2 \\ |\vec{E}_1| &= \sqrt{25 + 2,25} \\ |\vec{E}_1| &= 5,22 \text{ N/C} \end{aligned}$$

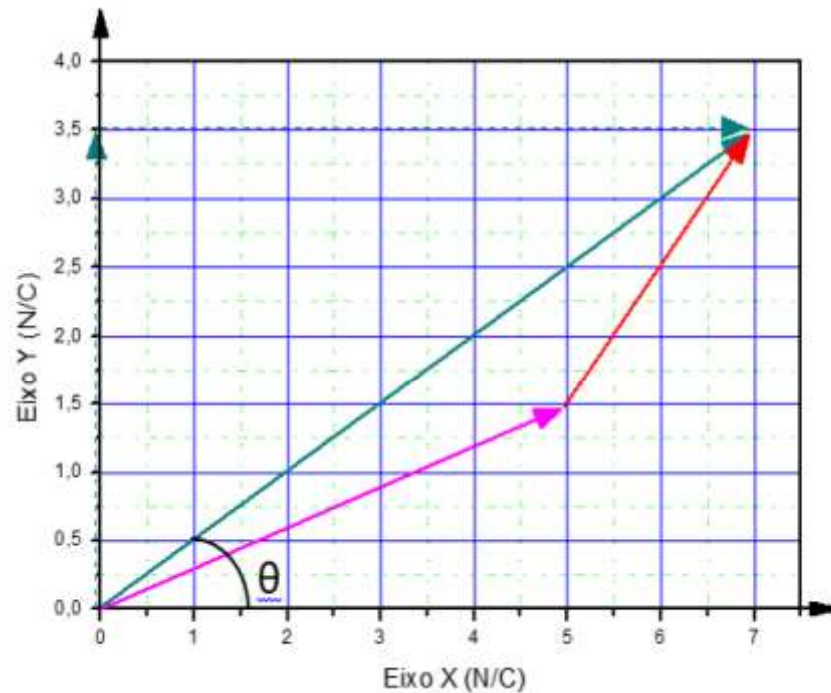
Fonte: Autoria própria.

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 28: 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 exposto 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:

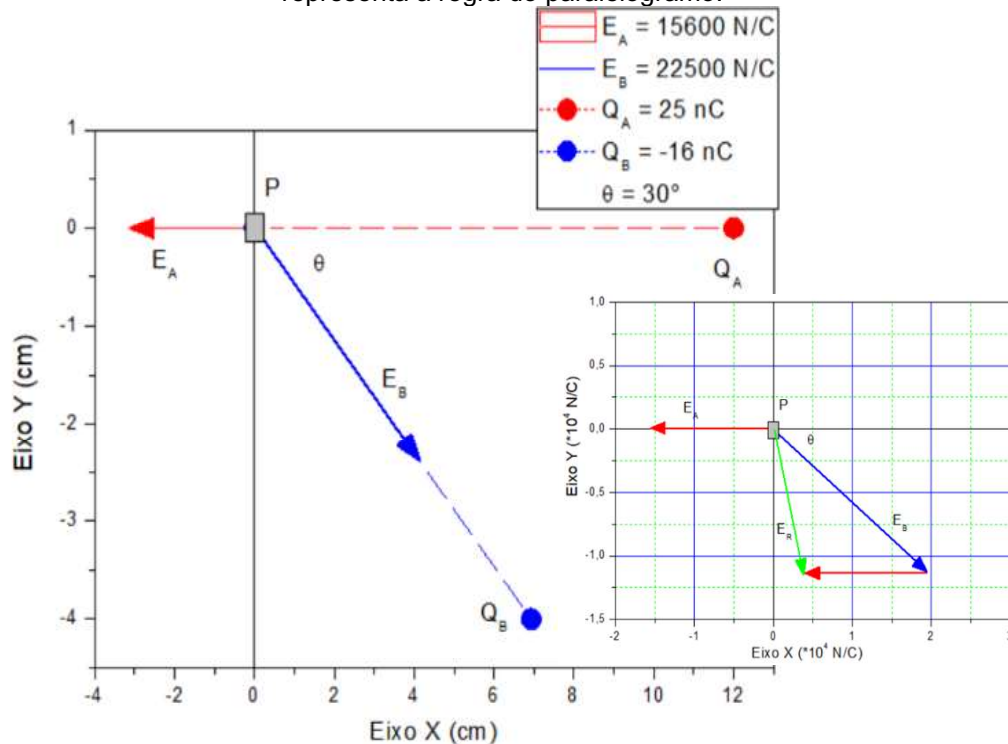
$$|\vec{E}_B| = \frac{kq_B}{r_B^2}$$

$$|\vec{E}_B| = \frac{8,99 * 10^9 (16 * 10^{-9})}{(0,08)^2}$$

$$|\vec{E}_B| = 22,5 * 10^3 \text{ N/C}$$

Neste ponto torna-se necessária a representação gráfica dos vetores de campo elétrico no plano cartesiano, conforme mostrado na Figura 29.

Figura 29: 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.

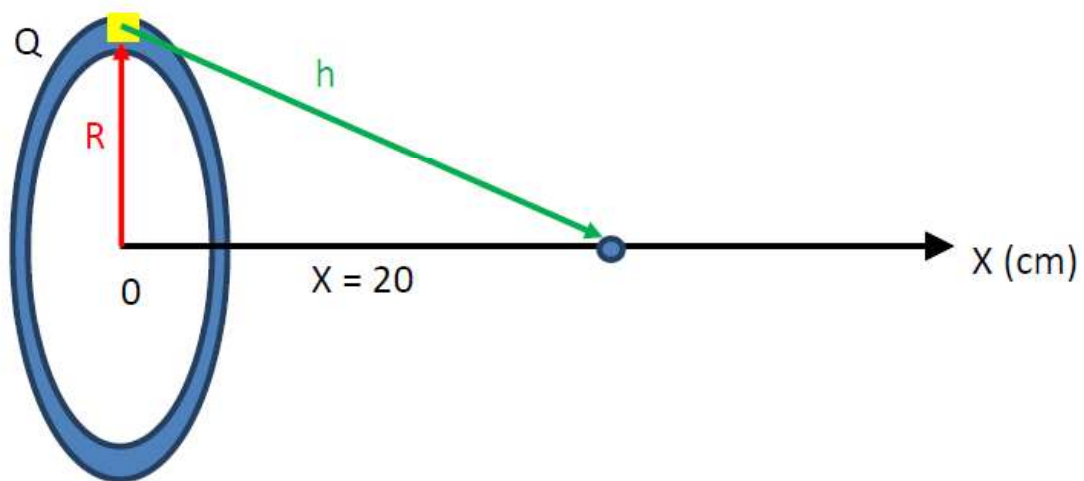
$$\rho = \frac{Q}{V} = \frac{\Delta Q}{\Delta V} \quad [\text{C/m}^3] \quad (13)$$

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 30: 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:

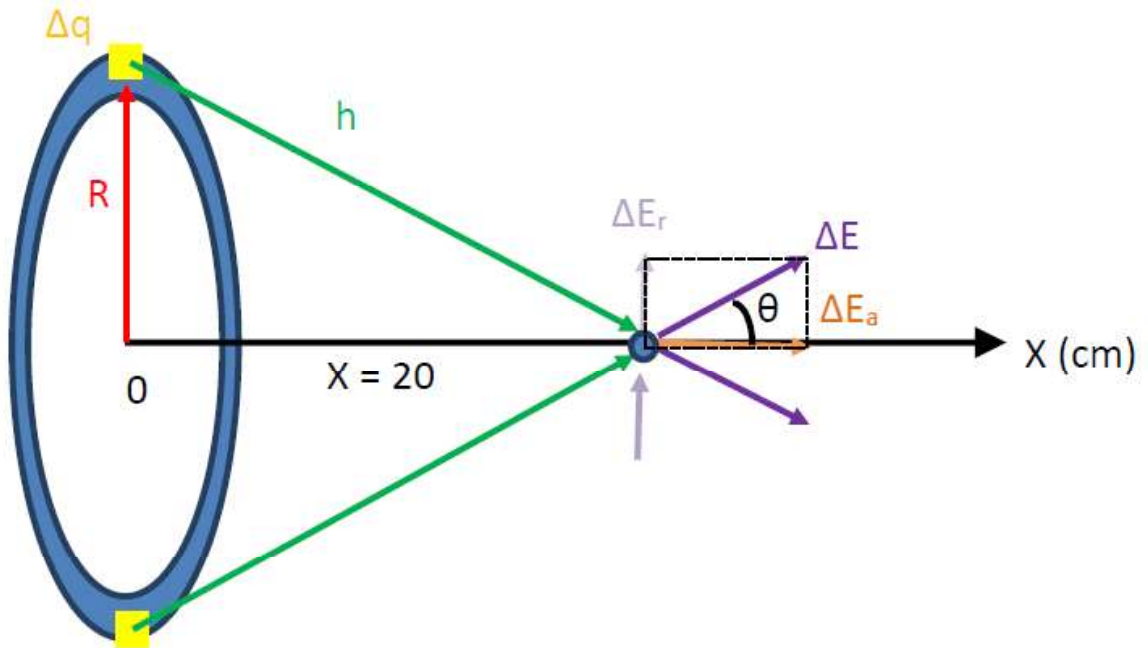
$$\Delta E = \frac{k\Delta q}{h^2} \quad (14)$$

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 31: 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).

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

$$\vec{E} = \frac{kQx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \hat{i} \quad (17)$$

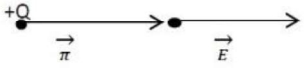
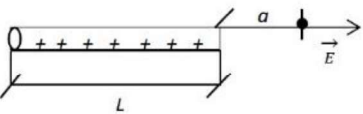
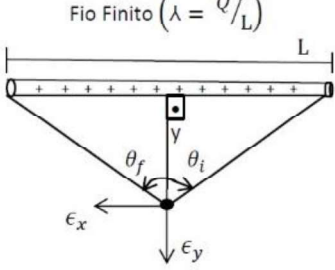
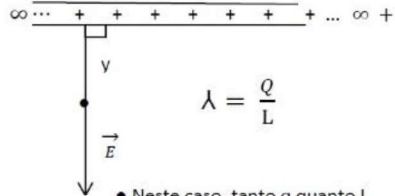
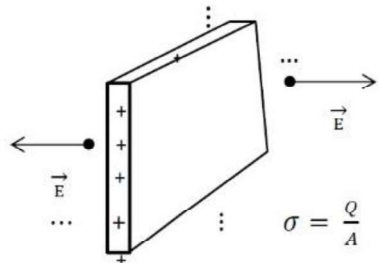
É interessante notar que quando queremos determinar o campo elétrico em uma posição afastada do anel, devemos obter como resposta a expressão do campo de uma partícula carregada. Algebricamente partindo da equação 17, e fazendo $x \gg R$ temos.

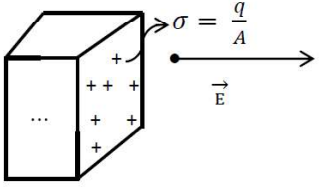
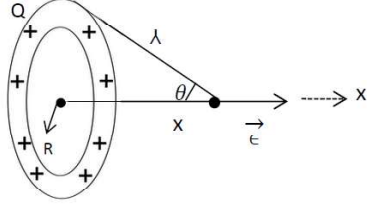
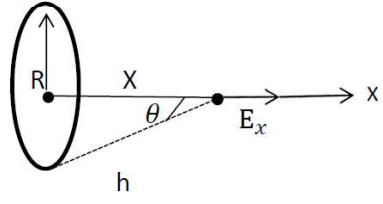
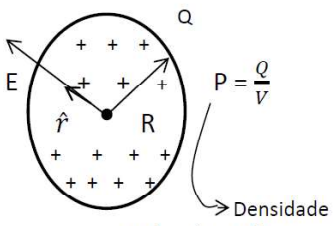
$$E = \frac{kQx}{(x^2 + R^2)^{3/2}} \approx \frac{kQx}{(x^2)^{3/2}}$$

$$E = \frac{kQ}{x^2}$$

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

<p>Carga Pontual</p> 	<p>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>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 E.</p>
<p>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>Finito (Centro)</p>  <p>$\lambda = \frac{Q}{L}$</p> <p>• Neste caso, tanto q quanto L não infinitos, mas λ (C/m) será finito.</p>	<p>Equação</p> $\vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y} \hat{r}$ $ \vec{E} = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 y}$	<p>Limitações: Campo será sempre perpendicular ao fio. y = Distância perpendicular ao fio até o ponto onde E será calculado.</p>
<p>Plano infinito isolante com σ</p>  <p>$\sigma = \frac{Q}{A}$</p>	<p>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.

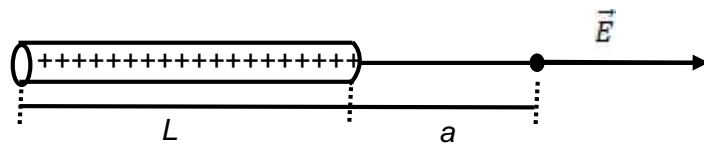
<p>Plano Espesso Infinito Condutor</p> 	$E = \frac{\sigma}{\epsilon}$	<p>A densidade de carga σ está todo na superfície extrema do plano.</p> <ul style="list-style-type: none"> σ zero campo apenas para o lado de fora do plano.
<p>Campo no Eixo do Anel</p> 	<p>Equação</p> $E_x = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 h^2} \cos \theta$ <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>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

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 $L = 40$ cm e carga $Q = 12$ nC. Determine o campo elétrico na posição $a = 15$ 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.

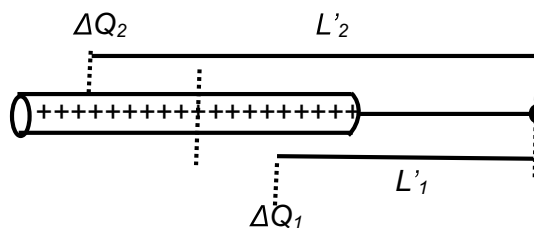
Figura 32: Representação da distribuição linear de cargas do exemplo 05.



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 $\Delta Q' = 6$ nC, com $\Delta L' = 20$ 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 33: 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 34: Interface para escolha das grandezas físicas que serão calculadas.

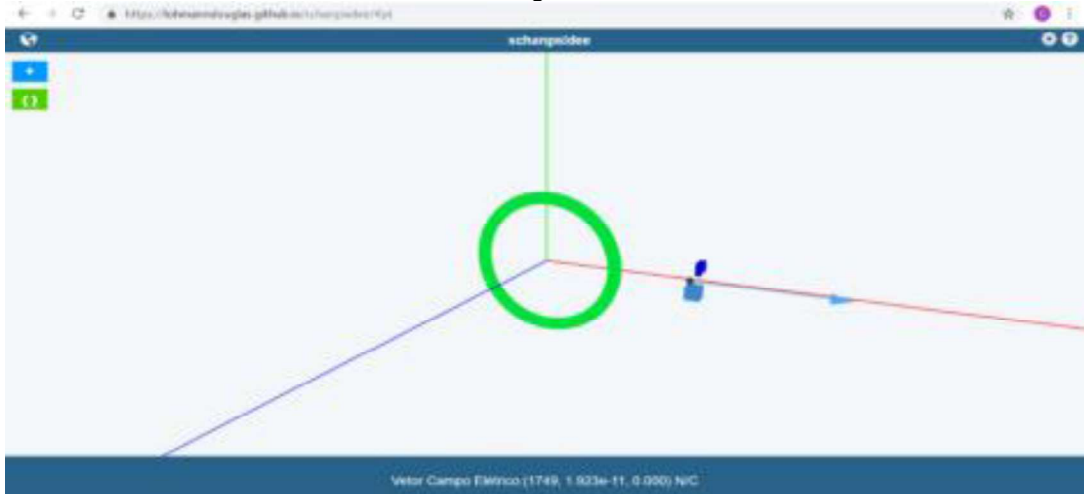


Fonte: Autoria própria.

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 35: 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.

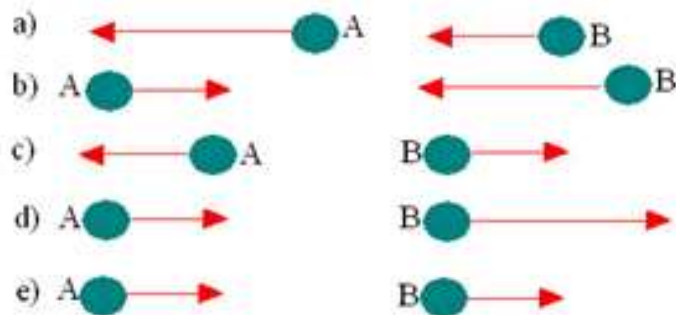
Exercícios propostos

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:

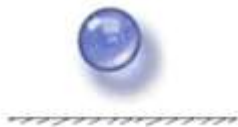
- a) $2,7 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- b) $8,1 \cdot 10^3 \text{ N/C}$
- c) $2,7 \cdot 10^6 \text{ N/C}$
- d) $8,1 \cdot 10^6 \text{ N/C}$
- e) $2,7 \cdot 10^9 \text{ N/C}$

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.

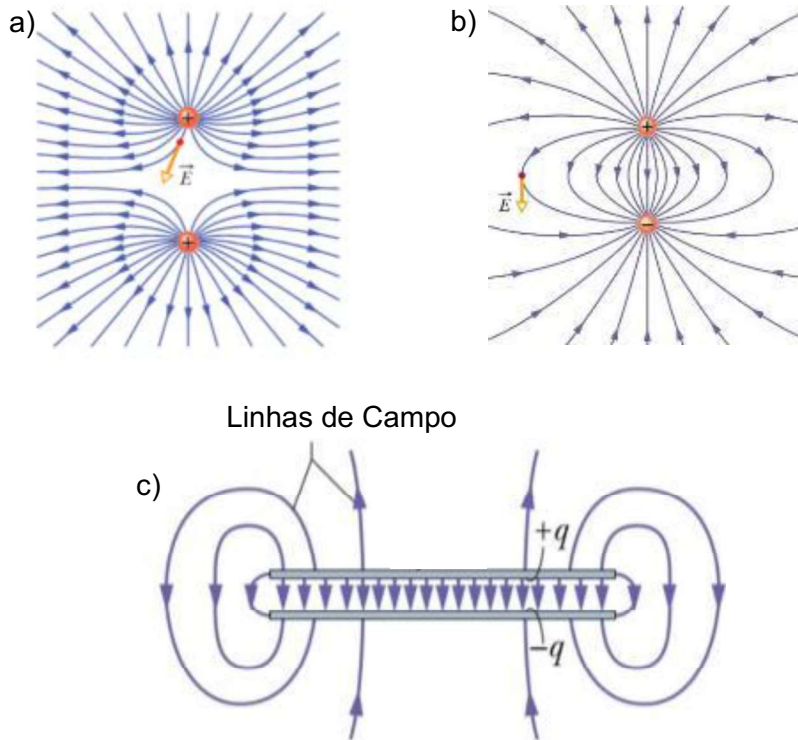
Cabe neste momento, explorar o significado de cada uma das variáveis associadas à Lei de Gauss. Para explorarmos o significado da primeira delas, o fluxo elétrico, torna-se importante apresentar uma forma alternativa de representar o campo elétrico no espaço, utilizando o conceito de linhas de campo – 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 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).



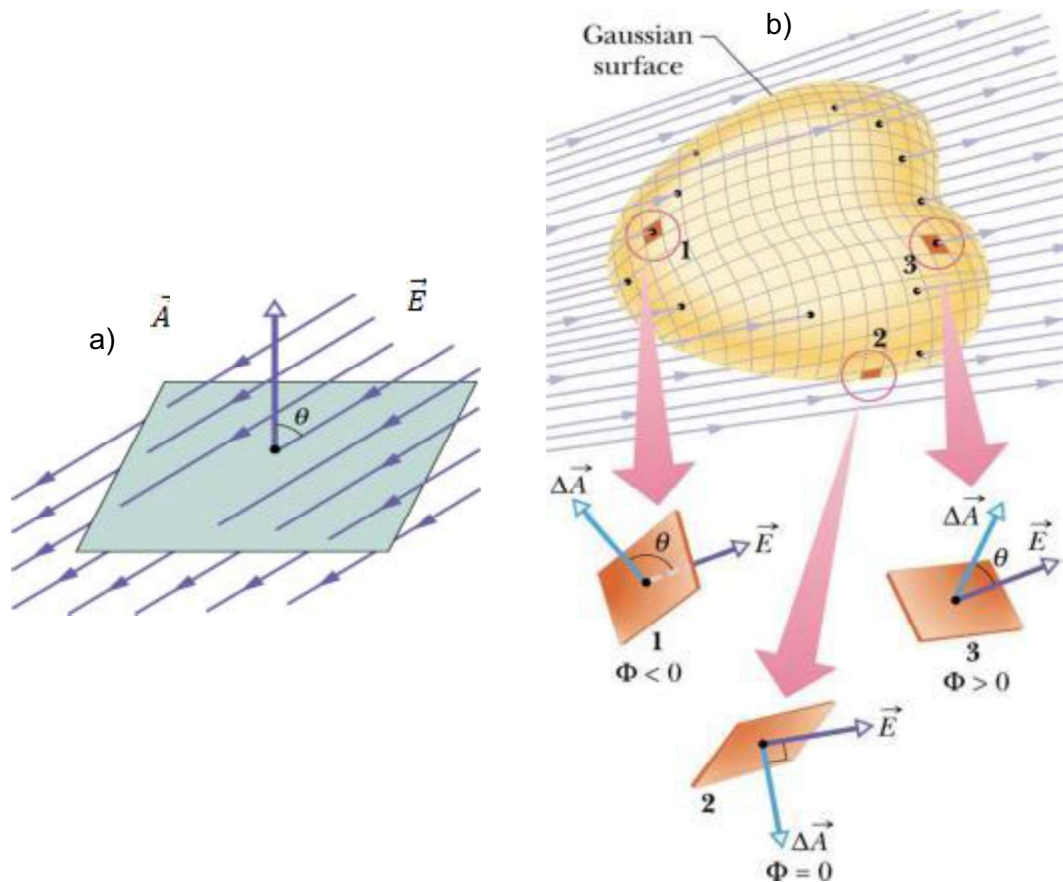
Fonte: Modificado do livro Fundamentos da Física, Halliday, Resnick, Walker (2009)

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 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.



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,

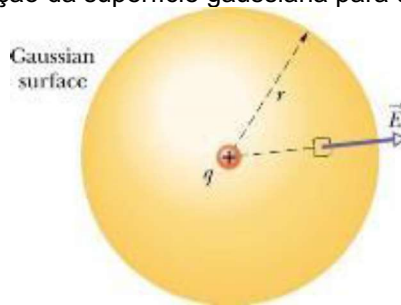
não apresente variação no seu módulo ou na sua orientação. Ao final, é realizada o somatório do fluxo elétrico de cada uma dessas pequenas partes, resultando no fluxo total da superfície. Porém este procedimento normalmente requer uma fundamentação matemática (que não aprofundaremos neste momento) costumeiramente 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 38: 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:

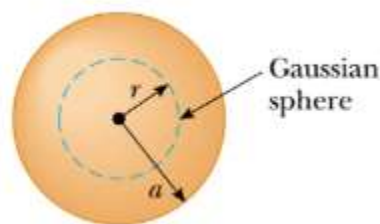
$$E(4\pi r^2)(1) = \frac{q_{int}}{\epsilon_0}$$

$$E = \frac{q_{int}}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (22)$$

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 39: 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,

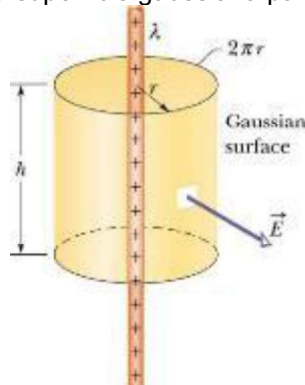
$$E * 4\pi r^2 = \frac{Q_{tot} r^3}{\epsilon_0 a^3}$$

$$E = \frac{Q_{tot} r}{4\pi\epsilon_0 a^3} \quad (24)$$

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 40: 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

$(2\pi r h)$. 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 podemos representar essa informação da seguinte forma:

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

$$E = \frac{q_{int}}{h} \frac{1}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (25)$$

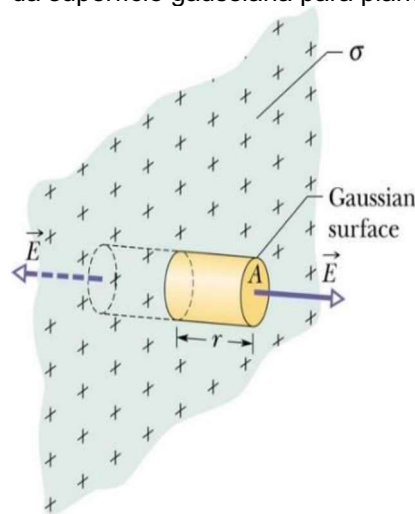
Analisando a equação (25), vemos que para uma linha infinita de cargas homogeneamente distribuídas tanto q_{int} quanto h tendem ao infinito, porém a razão entre essas duas grandezas é finita, chamada de densidade linear de cargas (λ), definida na equação (11).

$$E = \frac{\lambda}{2\pi\epsilon_0 r} \quad (26)$$

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 finito 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 41: 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:

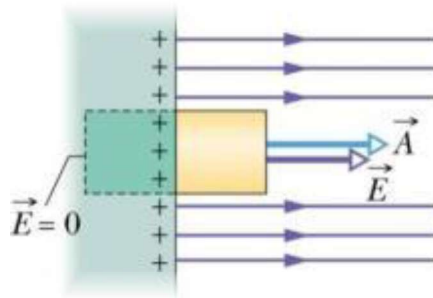
$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0} \quad (27)$$

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 42: 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:

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

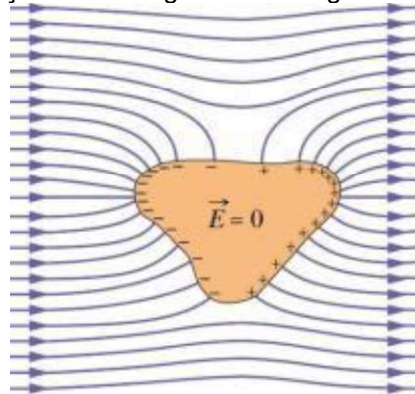
$$E = \frac{q_{int}}{A \epsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} \quad (28)$$

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 43: 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 A: 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 B: 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 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.

APÊNDICE C: 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 () Daniel Gabriel Fahrenheit.
maiores cientistas experimentais de todos os tempos
- 2) Dos estudos da gravitação e do movimento corpos, fez descobertas sobre a composição da luz () Isaac Newton.
estudos em química, geometria, teologia, alquimia filosofia.
- 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 () Charles Augustin Coulomb.
introdução dos termos positiva e negativa para referência às cargas elétricas.

() Michael Faraday.