



**UNIVERSIDADE DO ESTADO DA BAHIA - UNEB  
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E DA TERRA - DCET II  
CURSO DE LICENCIATURA EM MATEMÁTICA**

**DANIEL GODINHO MACHADO**

**O POTENCIAL DIDÁTICO-PEDAGÓGICO DO GERADOR DE  
VAN DE GRAAFF:**

A compreensão do conceito de carga elétrica por uma abordagem  
potencialmente significativa

**ALAGOINHAS (BA), 2025**

**DANIEL GODINHO MACHADO**

**O POTENCIAL DIDÁTICO-PEDAGÓGICO DO GERADOR DE VAN DE  
GRAAFF:**

A compreensão do conceito de carga elétrica por uma abordagem  
potencialmente significativa

Monografia apresentada à banca examinadora do Trabalho de Conclusão de Curso de Licenciatura em Matemática, pela Universidade do Estado da Bahia – *Campus* II, Alagoinhas, em cumprimento das exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de licenciado em Matemática, sob orientação do Prof. Esp. Paulo Henrique Lopes Pessoa.

**ALAGOINHAS (BA), 2025**

DANIEL GODINHO MACHADO

O POTENCIAL DIDÁTICO-PEDAGÓGICO DO GERADOR DE VAN DE  
GRAAFF:

A compreensão do conceito de carga elétrica por uma abordagem  
potencialmente significativa

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora da Universidade  
do Estado da Bahia – UNEB para a obtenção do título parcial de Licenciada em  
Matemática.

Alagoinhas, 16 de dezembro 2025

Banca Examinadora

Paulo Henrique Lopes Pessoa

Prof. Esp. Paulo Henrique Lopes Pessoa – Orientador

Universidade do Estado da Bahia (DCET II)

Mario Jose

Prof. Dr. Mario de Jesus Ferreira

Universidade do Estado da Bahia (DCET II)

Edielma Costa Mendonça

Prof. Dr<sup>a</sup>. Edielma Costa Mendonça

Universidade do Estado da Bahia (DCET II)

## **AGRADECIMENTOS**

Quero agradecer primeiramente a Deus, criador e mantenedor de todas as coisas e a Ele que me permitiu ter vida para chegar até aqui. Em segundo, agradeço ao meu pai, Norcelio Santana Machado, e principalmente a minha mãe, Fabiane Godinho da Silva, que me geriu, criou e cuidou de mim até aqui. A mulher que sempre foi muito mais que minha mãe: é o amor da minha vida.

Agradeço também a minha namorada Bianca Nova Cabeceira, que me deu todo apoio durante a produção deste trabalho, aos meus tios Antônio Godinho da Silva e Renata Godinho da Silva, aos meus falecidos avós, Romildo Ferreira da Silva e especialmente Filomena Godinho da Silva, meu eterno amor.

Também não posso deixar de agradecer ao meu Orientador Paulo Henrique (famoso PH), por toda paciência e dedicação em me auxiliar e orientar. À banca avaliadora por se dedicar a analisar este meu trabalho. E, também, a cada amigo, professor e familiar que fizeram parte de toda minha jornada.

Por fim, a você, meu caro leitor, obrigado por dedicar um pouco do seu tempo para ler este trabalho.

## RESUMO

Na contemporaneidade vivemos um período de grande ascensão da ciência e da tecnologia. Por esse motivo, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) indica a necessidade da formação de cidadãos que sejam capazes de interpretar e intervir em sua realidade, o que aponta para a necessária contextualização do ensino de física. Nesse sentido, o presente trabalho tem como objetivo geral investigar o potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff para a compreensão do conceito de carga elétrica em uma perspectiva Ausubeliana. Como objetivos específicos: Discutir a adequação da teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel para o ensino contextualizado do conceito de carga elétrica; realizar experimentos para identificação da presença de cargas elétricas e campo elétrico em um Gerador de Van de Graaff; e propor a construção de um Gerador de Van de Graaff de baixo custo como material potencialmente significativo para o ensino de carga elétrica. A fundamentação teórica está sustentada na aprendizagem significativa de David Ausubel como base para uma abordagem didático-pedagógica para aprendizagem do conceito de carga elétrica mediante a utilização do Gerador de Van de Graaff, atrelada a uma metodologia qualitativa. O resultado, após a investigação, apresentou o quanto uma abordagem didático-pedagógica contribui para a compreensão do conceito de carga elétrica através do uso do Gerador de Van de Graaff. Por fim, propomos a construção de um Gerador de baixo custo como material potencialmente significativo para ser utilizado em situações de ensino-aprendizagem.

**Palavras-chave:** potencial didático-pedagógico; gerador de Van de Graaff; carga elétrica; aprendizagem significativa.

## ABSTRACT

In contemporary times, we are experiencing a period of great advancement in science and technology. In this context, the Brazilian National Common Curricular Base (BNCC) highlights the need to educate citizens who can interpret and intervene in their reality, which reinforces the importance of contextualizing physics teaching. From this perspective, the present work has the general objective of investigating the didactic-pedagogical potential of the Van de Graaff generator for understanding the concept of electric charge from an Ausubelian perspective. The specific objectives are: to discuss didactic-pedagogical approaches that foster meaningful learning of the concept of electric charge through the use of the Van de Graaff generator; to carry out experiments to identify the presence of electric charges and electric field in a Van de Graaff generator; and to propose the construction of a low-cost Van de Graaff generator as a potentially meaningful material for teaching electric charge. The theoretical framework is grounded in David Ausubel's theory of meaningful learning as the basis for a didactic-pedagogical approach to teaching the concept of electric charge using the Van de Graaff generator, combined with a qualitative methodology. The results of the investigation showed how a didactic-pedagogical approach contributes to the understanding of the concept of electric charge using the Van de Graaff generator. Finally, we propose the construction of a low-cost generator as a potentially meaningful material to be used in teaching-learning situations.

**Keywords:** didactic-pedagogical potential; Van de Graaff generator; electric charge; meaningful learning.

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

<b>BNCC</b>	Base Nacional Comum Curricular
<b>DC</b>	<i>Direct Current</i> (Corrente Contínua)
<b>DCET</b>	Departamento de Ciências Exatas e da Terra
<b>MDF</b>	<i>Medium Density Fiberboard</i> (Placa de fibra de média densidade)
<b>MEC</b>	Ministério da Educação
<b>PVC</b>	<i>Polyvinyl chloride</i> (Policloreto de vinila)
<b>SENAI</b>	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
<b>TAS</b>	Teoria da Aprendizagem Significativa
<b>UNEB</b>	Universidade do Estado da Bahia

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelo atômico de Rutheford.....	18
Figura 2 – Balança de Torção.....	20
Figura 3 – Modelo do Gerador de Van de Graaff.....	24
Figura 4 – Estrutura Superior do Gerador.....	24
Figura 5 – Mapa conceitual atmosfera.....	30
Figura 6(a) – Gerador de Van de Graaff completo.....	37
Figura 6(b) – Gerador sem a cúpula.....	37
Figura 7 – Repulsão das fitas de alumínio.....	37
Figura 8 – Arco elétrico gerado.....	39
Figura 9 – Lâmpada fluorescente no gerador.....	40
Figura 10(a) – Funcionamento do Gerador de Van de Graaff.....	41
Figura 10(b) – Vídeo gerador sem a cúpula.....	41
Figura 11 – Gerador de baixo custo.....	46
Figura 12 – Mapa conceitual de Carga Elétrica.....	47

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 – Lei de Coulomb.....	21
Equação 2 – Campo Elétrico e Força Elétrica.....	22
Equação 3 – Equação do Campo Elétrico.....	22

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
<b>1.1 – Cenários e razões da pesquisa</b> .....	11
<b>1.2 – Problema de pesquisa</b> .....	12
<b>1.3 – Justificativa</b> .....	12
<b>1.4 – Objetivos</b> .....	14
1.4.1 – Objetivo geral.....	14
1.4.2 – Objetivos específicos .....	14
<b>1.5 – Estrutura da monografia</b> .....	14
<b>2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	16
<b>2.1 – Sobre o conceito de carga elétrica</b> .....	16
<b>2.2 – Gerador de Van de Graaff</b> .....	22
<b>2.3 – Aprendizagem Significativa</b> .....	25
2.3.1 – Teoria da Aprendizagem Significativa .....	25
2.3.2 – Mapa conceitual.....	29
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	31
<b>3.1 – Procedimento metodológico</b> .....	31
<b>3.2 – Sequência didática</b> .....	32
<b>3.3 – Proposta de uma sequência didática</b> .....	33
3.3.1 - Objetivo Geral.....	34
3.3.2 - Objetivos específicos .....	34
3.3.3 - Aula 1 (100 minutos).....	35
3.3.4 - Aula 2 (100 minutos).....	36
3.3.5 - Aula 3 (100 minutos).....	42
3.3.6 - Aula 4 - Processo Avaliativo (100 minutos).....	46
<b>4. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	49
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	51
<b>APÊNDICES</b> .....	53

## 1. INTRODUÇÃO

### 1.1 – Cenários e razões da pesquisa

Na sociedade contemporânea, onde decisões políticas, ambientais e de saúde estão intimamente ligadas ao desenvolvimento tecnológico, a má formação científica dos cidadãos pode ser associada diretamente a uma forma de exclusão. Para Attico Chassot (2003), a formação científica dos indivíduos é inseparável da capacidade de exercer a cidadania, pois “[...] ser cidadão ou cidadã hoje, no pleno sentido da palavra, pressupõe ser cientificamente alfabetizado” (Chassot, 2003, p. 137).

De acordo com dados da Datafolha (2024), em média 8% da população brasileira acredita que o planeta Terra possui um aspecto plano, e não acreditam ou não compreendem ao menos alguns fenômenos físicos. Essas convicções funcionam como verdadeiros ‘obstáculos epistemológicos’ que, segundo Bachelard, levam o pensamento a “[...] entesourar um saber e a impedir-se de sabê-lo” (Bachelard, 1996, p. 18). Nesse sentido, conhecimentos prévios podem funcionar como obstáculos epistemológicos, como elucida Moreira (2011):

[...] há casos em que o conhecimento prévio pode ser bloqueador, funcionar como o que Gaston Bachelard chamou de obstáculo epistemológico. Por exemplo, a ideia de corpúsculo como uma “bolinha” invisível, com uma massa muito pequena, ocupando um espaço muito pequeno, dificulta enormemente a aprendizagem significativa do que seja uma partícula elementar. (Moreira, 2011, p. 23)

O jornal O Globo (2016), na matéria ‘Vídeo flagra momento em que raio atinge o edifício Empire State’, informa que, durante o ano, o *Empire State Building*, um dos maiores prédios dos Estados Unidos, recebe em média 23 raios, o que não acontece em tamanha frequência nas demais construções. Indagações são levantadas, como o porquê dessa ocorrência em maior frequência em estruturas mais elevadas e se há, de fato, relação desse fenômeno com espelhos. Sendo assim, surge a necessidade de promover a compreensão do conceito de carga elétrica bem como os princípios eletrostáticos, sendo estes: Atração e Repulsão; Quantização das Cargas; Conservação das Cargas Elétricas.

Reforçando a importância da formação científica nos estudos, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC), de 2022, para o ensino médio, traz como

habilidade (EM13CNT201) a análise de diversos modelos científicos de épocas diferentes para a explicação do surgimento da evolução da vida, da Terra e do universo. Como o próprio objeto está presente e se manifesta no universo, acompanhando a própria história humana, faz-se justificável o seu estudo no sistema de ensino básico bem como a devida abordagem em cursos de ciências exatas, como no caso da licenciatura em matemática.

Tendo em vista essas necessidades, Young e Freedman (2015) consideram que o gerador de Van de Graaff, desde sua construção, pode permitir o estudo e visualização dos princípios da eletrostática. Alinhado a isso, Morais (2015) afirma que a teoria dos Modelos Mentais de Jonhson Laird permite o avanço progressivo para modelos conceituais a partir das ideias dos educandos a respeito dos fenômenos.

## **1.2 – Problema de pesquisa**

Como explorar o potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff para a compreensão do conceito de carga elétrica em uma perspectiva Ausubeliana?

## **1.3 – Justificativa**

Para o ensino-aprendizagem, no contexto de ciências da natureza, é necessário a utilização de modelos para a assimilação dos conteúdos, bem como a sua sistematização em leis e teorias matemáticas. Neste sentido, a Base Nacional Comum Curricular (BNCC) afirma que:

Na área de Ciências da Natureza, os conhecimentos conceituais são sistematizados em leis, teorias e modelos. A elaboração, a interpretação e a aplicação de modelos explicativos para fenômenos naturais e sistemas tecnológicos são aspectos fundamentais do fazer científico, bem como a identificação de regularidades, invariantes e transformações. Portanto, no Ensino Médio, o desenvolvimento do pensamento científico envolve aprendizagens específicas, com vistas a sua aplicação em contextos diversos. (Brasil, 2022, p. 548)

Especificamente sobre o conceito de carga elétrica, é importante sua compreensão para que seja possível investigar as relações entre matéria e energia, pois a BNCC confirma que é necessário

[...] prever os efeitos das interações e relações entre matéria e energia (por exemplo, analisar matrizes energéticas ou realizar previsões sobre a condutibilidade elétrica e térmica de materiais, sobre o comportamento dos elétrons frente à absorção de energia luminosa, sobre o comportamento dos gases frente a alterações de pressão ou temperatura, ou ainda sobre as consequências de emissões radioativas no ambiente e na saúde). (Brasil, 2022, p. 549)

Diante do exposto, consideramos que se faz oportuno investigar o potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff para a compreensão do conceito de carga elétrica a partir da observação de fenômenos físicos.

Durante o processo de formação acadêmica, mais especificamente durante o ensino básico, o questionamento que mais se apresentava era “qual área profissional devo seguir?”, o que me fez refletir em diversas áreas já atuadas ou observadas, sejam pela necessidade de contribuição com as despesas do lar ou pela busca de uma formação que mais se adeque com meu perfil e gostos.

No decorrer deste primeiro momento, comecei a observar a estrutura da fiação elétrica tanto da minha própria residência quanto dos colégios que estudava, o que me levou cada vez mais a pensar e querer entender o comportamento e funcionamento da corrente elétrica, algo tão presente no mundo moderno, mas algumas vezes apenas utilizado e não compreendida conceitualmente.

Ao finalizar o ano letivo, ingressei na licenciatura em matemática na UNEB. Paralelamente também comecei a cursar o curso técnico em eletrotécnica no SENAI. Este curso foi muito valioso para mim, pois me permitiu ter um acesso mais direto em trabalho com redes de distribuição e visualizar a aplicação da eletricidade nas residências, compreendendo melhor como ela é aproveitada cotidianamente pelas pessoas.

Ao longo de ambos os cursos, principalmente o da licenciatura em matemática, em componentes como Cálculo 1, 2, 3 e 4, Matemática 1, 2 e 3 e Física 1, 2 e 3, percebi o quanto é importante a utilização de ferramentas que potencializem o ensino-aprendizado, principalmente para os contextos da eletricidade e matemática, que, por sua vez, tendem a ser muito abstratos.

Outro momento importante em minha formação foi a oportunidade de estagiar pelo programa Mais Futuro, o que me permitiu ter um acesso mais direto e constante ao laboratório de física da própria UNEB, onde pude encontrar o

Gerador de Van de Graaff desmontado e inutilizado. Sendo assim, veio-me a seguinte reflexão “Por que não o concertar e utilizar?”. No decorrer da componente de Física 3, percebi ser cada vez mais notório como a presença de um objeto como este gerador poderia facilitar e muito a visualização que norteia o conceito de carga elétrica.

Por fim, pareceu-me proveitoso a realização de uma pesquisa qualitativa a respeito do potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff, visando além de investigar o seu potencial através de uma abordagem potencialmente significativa, poder explorar a sua construção e funcionamento utilizando materiais de baixo custo.

## **1.4 – Objetivos**

### 1.4.1 – Objetivo geral

- Investigar o potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff para a compreensão do conceito de carga elétrica em uma perspectiva Ausubeliana.

### 1.4.2 – Objetivos específicos

- Discutir a adequação da teoria da Aprendizagem Significativa de David Ausubel para o ensino contextualizado do conceito de carga elétrica;
- Realizar experimentos para identificação da presença de cargas elétricas e campo elétrico em um Gerador de Van de Graaff;
- Propor a construção de um Gerador de Van de Graaff de baixo custo como material potencialmente significativo para o ensino de carga elétrica.

## **1.5 – Estrutura da monografia**

Os capítulos e seções que compõem esta monografia serão descritos de maneira sucinta, para uma compreensão geral e visualização prévia dos pontos mais relevantes.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico deste trabalho, abordando conceitos sobre carga elétrica, gerador de Van de Graaff e aprendizagem significativa.

Na seção 2.1 será apresentado o conceito de carga elétrica apresentado por autores como Halliday, Young e Freedman e Nussenzveig, físicos que exploram em suas obras a conceituação geral a ser abordada, sendo utilizados inclusive como material de estudo em cursos do nível superior.

No item 2.2 buscaremos aprofundar sobre o Gerador de Van de Graaff, sua história desde sua criação, funcionalidades e finalidades, bem como suas possibilidades de adaptação e utilização de materiais recicláveis para sua montagem e funcionamento.

A seção 2.3 traz uma abordagem da aprendizagem significativa de David Ausubel, através de tópicos como “subsunçores”, organizadores prévios e comparativo com a aprendizagem mecânica. Este capítulo tem como intuito apresentar uma forma de explorar o potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff em uma perspectiva Ausubeliana.

O terceiro capítulo visa descrever a aplicação de experimentos que são possíveis serem realizados com o gerador, como a repulsão de fitas de alumínio após o carregamento deste, para logo após, refletir de maneira qualitativa uma abordagem potencialmente significativa em contextos de ambientes de ensino-aprendizagem.

Por último, este trabalho apresenta as considerações finais, trazendo observações realizadas, pontos de melhoria e a proposta da construção de um Gerador de Van de Graaff de baixo custo como material potencialmente significativo para o ensino de carga elétrica.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 – Sobre o conceito de carga elétrica

A construção do conceito de carga elétrica perpassa, no decorrer da história, pela visualização de fenômenos ocorridos mediante experimentos físicos. Nesse sentido, observando a força entre um bastão e um corte de lã eletrizados, Halliday e Resnick discorrem que:

Depois de muitas investigações, os cientistas concluíram que as forças observadas [...] se devem à carga elétrica que é transferida para os bastões quando eles são esfregados com seda ou lã. A carga elétrica é uma propriedade intrínseca das partículas elementares de que são feitos todos os materiais, incluindo o vidro, o plástico, a seda e a lã. (Halliday; Resnick, 2016, p. 30)

Young e Freedman (2015), enfatizam que o processo histórico de observação e investigação do conceito da carga elétrica mediante experimentações é algo que foi observado e registrado por civilizações da era antiga, destacando que:

Na Grécia antiga, em torno de 600 a.C., descobriu-se que, após friccionar lã em um pedaço de âmbar, este passava a atrair outros objetos. Hoje dizemos que o âmbar adquiriu uma carga elétrica líquida, ou se tornou carregado. O termo “elétrico” tem origem na palavra grega elektron, que significa âmbar. (Young; Freedman, 2015, p. 2)

Desde a percepção da existência da carga elétrica ainda não havia uma distinção em termos dos tipos de cargas elétricas existentes, ou se apenas era um tipo. Nesse sentido, Nussenzveig (1997) afirma que:

A existência de dois tipos diferentes de cargas foi descoberta por Charles François du Fay em 1733, quando mostrou que duas porções do mesmo material, por exemplo âmbar, eletrizados por atrito com um tecido, repeliam-se, mas o vidro eletrizado atraía o âmbar eletrizado (Nussenzveig, 1997, p. 2)

Por fim, após o reconhecimento da existência de dois tipos de cargas elétricas, houve a necessidade de se realizar uma distinção entre elas. Para isto, a classificação usada para ‘carga positiva’ e ‘carga negativa’ foi inaugurada por

Benjamin Franklin (1706-1790) onde ele, ao analisar a eletrização por atrito entre uma haste de plástico e um corte de seda:

[...] sugeriu chamar de carga positiva e negativa, respectivamente, esses dois tipos de carga, e esses nomes ainda são utilizados. A haste de plástico e a seda possuem cargas negativas; a haste de vidro e a pele possuem cargas positivas. (Young; Freedman, 2015, p. 2)

A partir do exposto, é possível resumir algumas ideias centrais. A carga elétrica é, portanto, uma propriedade intrínseca da matéria, existindo em todo o ambiente. Existem dois tipos de cargas: as positivas e as negativas. A escolha de qual carga seria positiva por Benjamin Franklin decorre do fato de que ele

[...] acreditava que era a carga positiva, que imaginava como um fluido, aquela que se transferia. Hoje sabemos que, na eletrização por atrito, são os elétrons que se transferem de um corpo a outro, e sua carga é negativa, segundo a convenção historicamente adotada – que é inteiramente arbitrária. (Nussenzveig, 1997, p. 3)

O comportamento destas cargas permite, por sua vez, classificar os materiais de acordo com a facilidade com a qual elas se movem no seu interior. Sobre a condutividade elétrica dos materiais, Halliday e Resnick afirmam que:

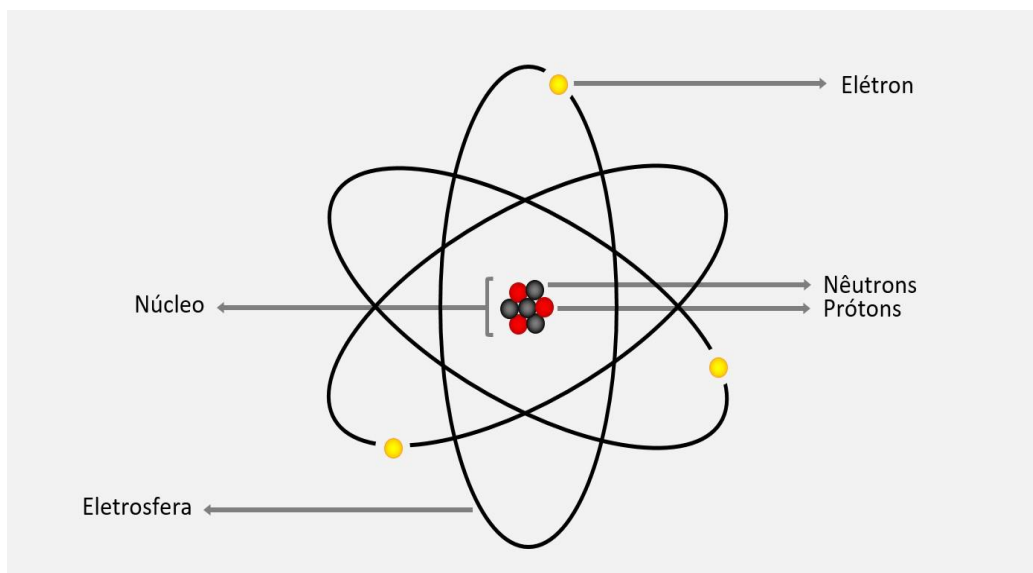
Nos condutores, como o cobre dos fios elétricos, o corpo humano e a água de torneira, as cargas elétricas se movem com facilidade. Nos isolantes, como os plásticos do isolamento dos fios, a borracha, o vidro e a água destilada, as cargas não se movem. Os semicondutores, como o silício e o germânio, conduzem eletricidade melhor que os isolantes, mas não tão bem como os condutores. Os supercondutores são condutores perfeitos, materiais nos quais as cargas se movem sem encontrar nenhuma resistência. (Halliday; Resnick, 2016, p. 32)

As características de um material dão origem a seu comportamento quanto à sua condutividade. Eles podem ser isolantes, condutores, semicondutores ou supercondutores. Essas características dependem da estrutura e propriedades elétricas dos átomos. Os átomos, no modelo de Rutherford, são formados por três tipos de partículas: prótons, nêutrons e elétrons. Sobre as características desse modelo atômico, Halliday e Resnick destacam que:

Os átomos são formados por três tipos de partículas: os prótons, que possuem carga elétrica positiva, os elétrons, que possuem carga elétrica negativa, e os nêutrons, que não possuem carga elétrica. Os prótons e os nêutrons ocupam a região central do átomo, que é conhecida como núcleo. (Halliday; Resnick, 2016, p. 33)

O modelo descrito é utilizado didaticamente para compreensão geral dos átomos, permitindo a visualização das cargas elétricas na matéria. A figura 1 ilustra uma representação esquemática deste modelo.

Figura 1: Modelo atômico de Rutheford



Fonte: Professor de Química (2024)

Como mostra a figura 1, o modelo atômico de Rutheford indica que o átomo possui duas regiões: o núcleo e a eletrosfera. No núcleo estão os prótons (carregados positivamente) e os nêutrons (que não possuem carga líquida). Ao redor do núcleo circulam cargas eletricamente negativas, os elétrons, e se situam em uma região denominada eletrosfera. O átomo representado pela figura se encontra eletricamente neutro, ou em estado de equilíbrio, pois, as quantidades de elétrons e de prótons são iguais.

Um átomo em seu estado fundamental se encontra eletricamente neutro. Quando está eletricamente desequilibrado é denominado íon, sendo íon negativo com elétrons em excesso e íon positivo o com escassez de elétrons. Sobre a formação dos íons, é importante ressaltar que:

Quando um ou mais elétrons são removidos desse átomo neutro, obtém-se um íon positivo. Um íon negativo é obtido quando um átomo ganha um ou mais elétrons. Esse processo no qual o átomo ganha ou perde elétrons denomina-se ionização. (Young; Freedman, 2015, p. 4)

Uma das formas de se eletrizar um determinado material, além do atrito e contato, é pelo processo de indução, que não necessita uma interação direta entre o objeto que eletrizará o outro. Este processo ocorre, por exemplo, segundo Halliday e Resnick (2016), quando aproximamos uma barra plástica negativamente carregada de uma barra de cobre eletricamente neutra, fazendo com que os elétrons da barra de cobre sejam repelidos para a extremidade oposta enquanto a região mais próxima ficará com uma escassez de elétrons. Devido a distância entre o lado, agora mais positivo, ser menor da barra plástica, a força de atração será maior que a de repulsão. Sobre esse processo de eletrização, os autores destacam que:

Embora a barra de cobre como um todo continue a ser eletricamente neutra, dizemos que ela possui uma *carga induzida*; isso significa que algumas das cargas positivas e negativas foram separadas pela presença de uma carga próxima. (Halliday; Resnick, 2016, p. 33)

O conceito de carga elétrica é estruturado por meio dos princípios da eletrostática. O princípio da atração e repulsão, “Duas cargas positivas ou duas cargas negativas se repelem. Uma carga positiva e uma carga negativa se atraem.” Young e Freedman (2015, p. 5). Este princípio, por sua vez, considera que:

A atração e repulsão entre dois objetos carregados às vezes é resumida como “cargas semelhantes se repelem e cargas opostas se atraem”. Contudo, “cargas semelhantes” não significa que as duas cargas são idênticas, apenas que ambas as cargas possuem o mesmo sinal algébrico (ambas positivas ou ambas negativas). “Cargas opostas” significa que os dois objetos possuem uma carga elétrica, e que essas cargas possuem sinais algébricos opostos (uma positiva e outra negativa). (Young; Freedman, 2015, p. 3)

O princípio da conservação da carga elétrica informa que “A soma algébrica de todas as cargas elétricas existentes em um sistema isolado permanece constante” (Young; Freedman, 2015, p. 5), o qual, atribuído pelos próprios autores, acredita-se ser uma lei de conservação universal.

Por fim, o terceiro princípio indica que “O módulo da carga do elétron ou do próton é uma unidade natural de carga elétrica.” (Young; Freedman, 2015, p. 5), onde qualquer quantidade de carga elétrica observada é sempre um múltiplo inteiro dessa unidade básica.

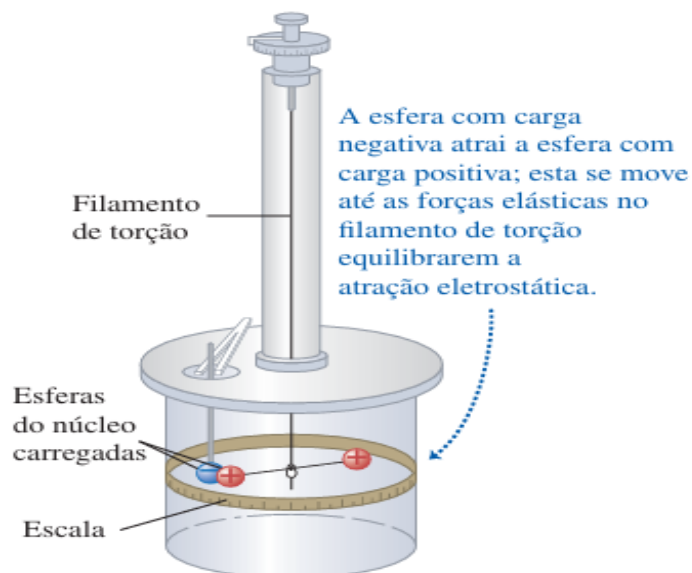
Estudos realizados com as cargas elétricas, mais especificamente entre suas interações, permitiram uma análise, através de experimentos, sobre qual seria o comportamento destas. A balança de torção foi um instrumento muito útil no estudo das forças elétricas. De acordo com Young e Freedman (2015):

Charles Augustin de Coulomb (1736-1806) estudou as forças de interação entre partículas carregadas em 1784. Ele usou uma balança de torção semelhante à usada 13 anos mais tarde por Cavendish para estudar a força de interação gravitacional (Young; Freedman, 2015, p. 8)

A balança de torção é um instrumento que possui um filamento de torção na vertical conectado ao centro de uma haste na horizontal. Em cada extremidade desta haste há uma esfera negativamente carregada e outra positivamente. É possível visualizar a esfera carregada positivamente sendo atraída para a negativa até que consigam entrar em equilíbrio eletrostático. Por sua vez, é possível medir o ângulo gerado pela rotação da haste e deduzir a Lei de Coulomb como representado na figura 2.

Figura 2: Balança de Torção

(a) Uma balança de torção do tipo usado por Coulomb para medir a força elétrica



Fonte: Young e Freedman (2015, p. 8)

Após a realização dos experimentos na balança de torção, Coulomb pôde verificar que a força elétrica entre duas partículas carregadas é inversamente

proporcional ao quadrado da distância que as separa. Young e Freedman (2015) afirmam que:

Para cargas puntiformes, corpos carregados muito menores que a distância  $r$  que os separa, Coulomb verificou que a força elétrica entre eles é proporcional a  $1/r^2$ . Ou seja, quando a distância  $r$  dobra, a força se reduz a um quarto de seu valor inicial; quando a distância se reduz à metade, a força se torna quatro vezes maior que seu valor inicial. (Young; Freedman, 2015, p. 8)

Coulomb confirmou, também, que a força elétrica é diretamente proporcional ao produto das cargas envolvidas. Nas palavras de Young e Freedman (2015):

A força elétrica entre dois corpos também depende da carga existente em cada corpo, que será designada por  $q$  ou  $Q$ . Para explorar essa dependência, Coulomb dividiu uma carga em duas partes iguais, colocando um pequeno condutor esférico carregado em contato com outro condutor esférico idêntico descarregado; por simetria, as cargas são igualmente divididas entre as duas esferas. (Young; Freedman, 2015, p. 8)

Sendo assim, Coulomb estabeleceu o que denominamos como Lei de Coulomb, a qual caracteriza e generaliza a atuação da força elétrica enunciada como “O módulo da força elétrica entre duas cargas puntiformes é diretamente proporcional ao produto das cargas e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre elas.” (Young; Freedman, 2015, p. 9).

De acordo com Young e Freedman (2015), em termos matemáticos, a Lei de Coulomb pode ser escrita como indica a Equação 1:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1q_2|}{r^2} \hat{r} \quad \epsilon_0 \cong 8,854 \times 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$$

Equação 1

Nesta fórmula, podemos identificar  $\hat{r}$  como o versor unitário na direção da reta que liga as duas cargas puntiformes  $q$  no sentido de 2 em 1 e  $\epsilon_0$  como a permissividade elétrica no vácuo. A força é diretamente proporcional ao produto das cargas envolvidas e inversamente ao quadrado da distância,  $r$ .

A partir do estudo da força elétrica é possível compreender o conceito de campo elétrico. O conceito de campo elétrico está associado à interação entre dois portadores de carga elétrica. Nesse sentido, a força pode ser entendida

como resultado da perturbação ocasionada pelo campo gerado pela carga. Halliday e Resnick (2016) trazem a seguinte definição para o campo elétrico:

Em princípio, podemos definir o campo elétrico em um ponto nas proximidades de um objeto carregado da seguinte forma: Colocamos no ponto P uma pequena carga positiva  $q_0$ , que chamamos de carga de prova porque será usada para provar (ou seja, sondar) o campo. (Usamos uma carga pequena para não perturbar a distribuição de carga do objeto.) Em seguida, medimos a força eletrostática que age sobre a carga  $q_0$  e definimos o campo elétrico produzido pelo objeto [...] (Halliday; Resnick, 2016, p. 76)

A partir dessas considerações, pode-se descrever o vetor campo elétrico como a força elétrica dividida pela carga de prova, representado pela equação 2

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

Equação 2

Considerando um ponto situado a uma distância  $r$  de uma carga puntiforme  $q$ , o campo elétrico também pode ser expresso pela equação:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q|}{r^2} \hat{r} \quad \epsilon_0 \cong 8,854 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

Equação 3

Uma carga elétrica gera um campo elétrico no espaço ao seu redor, mas este campo não exerce uma força resultante sobre a própria carga que o criou. Isto é um exemplo do princípio geral, como afirmado por Young e Freedman (2015):

Uma única carga produz um campo elétrico no espaço de suas vizinhanças, porém esse campo elétrico não pode exercer força resultante sobre a carga que o criou; esse é um exemplo do princípio geral, segundo o qual um corpo não pode produzir uma força resultante sobre si mesmo. (Se esse princípio não fosse verdadeiro, você poderia dar um pulo até o teto simplesmente puxando seu cinto para cima!) (Young; Freedman, 2015, p. 14)

## 2.2 – Gerador de Van de Graaff

Segundo Morais (2015), em 1931, o Gerador de Van de Graaff foi criado pelo Físico e engenheiro mecânico Robert J. Van de Graaff. Ele “[...] passou a se interessar pela pesquisa na área da física atômica após assistir a uma

conferência de Marie Curie, que o levou à criação do gerador” (Morais, 2015, p.13).

Inspirado por Marie Curie, Robert, ao retornar para os Estados Unidos, passou a idealizar e construir o protótipo do seu gerador que levaria o seu nome e com o tempo o aperfeiçoando, assim como afirma Moraes (2015):

Após retornar para os Estados Unidos em 1929, ele construiu seu primeiro protótipo do gerador, onde conseguiu atingir 80.000 Volts. Em 1931 realizou algumas melhorias em seu modelo inicial, para apresentá-lo no jantar de inauguração do Instituto Americano de Física. Seu novo aparelho atingiu 1.000.000 Volts. (Morais, 2015, p. 13)

Um modelo geral do gerador de Van de Graaff pode ser constituído de alguns materiais como uma correia feita de material isolante, roletes e tubos PVC. Estes materiais são adequados se pensarmos na construção de um gerador de pequeno ou médio porte. Referindo-se a esse tipo de gerador, Moraes discorre que, seu funcionamento

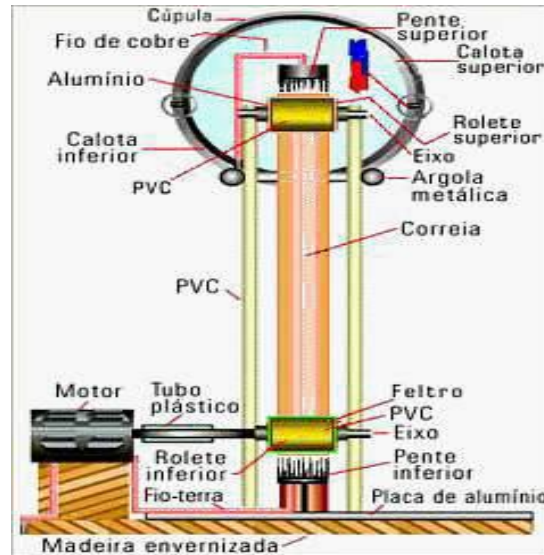
[...] baseia-se na separação de cargas nos corpos por eletrização por atrito e na distribuição superficial de cargas. O gerador é constituído basicamente por uma base isolante, um motor, dois roletes (superior e inferior), uma correia de material isolante (borracha, por exemplo), duas escovas de metal e uma cúpula de metal. Os materiais usualmente utilizados para a base é o acrílico ou PVC, os roletes são de materiais diferentes e pelo menos um deles feito de material condutor. (Morais, 2015, p. 14)

A estrutura do gerador, mostrada na figura 3, possui uma base fixa com um rolete acoplado a um motor. Após ser ligado, o motor faz com que o rolete inferior seja rotacionado. A correia que está sendo esticada pelo rolete inferior e superior, passa a rotacionar e, assim, atritar com a escova na parte superior do gerador. Por fim, a escova que está adquirindo cargas pelo atrito com a correia, eletriza a cúpula metálica transferindo as cargas por um fio de cobre, exemplificado na figura 3.

A figura 3 ilustra, ainda, que o motor tem seu eixo aterrado acoplado a um tubo plástico isolante, este eixo entra em contato direto com o rolete e o aterramento com um pente inferior, para que assim, enquanto a correia rotaciona, um dos tipos de carga elétrica passe pelo aterramento, fazendo com que apenas um tipo de carga possa ser deslocado por atrito para a parte superior. Este também é o motivo da estrutura ser de PVC e a correia geralmente

de borracha, materiais isolantes que garantem essa separação das cargas e o carregamento.

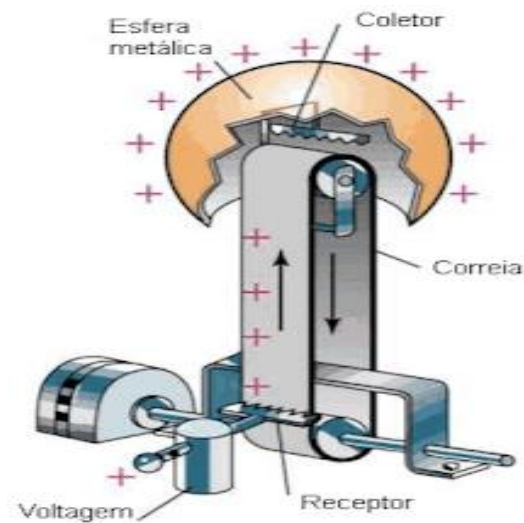
Figura 3: Modelo do Gerador de Van de Graaff



Fonte: Info Escola (2025)

A correia sofre um desgaste mecânico ao sofrer atrito com a escova metálica. O processo de atrito também faz com que cargas elétricas sejam separadas e passem a se acumular na escova. Ocorrendo uma concentração de cargas suficientemente alta, pelo processo de indução, elas se direcionam até a cúpula de metal. Como a cúpula está firmada em uma estrutura de PVC, que é um material isolante, as cargas acumuladas não podem se direcionar para outra região, fazendo com que a casca de metal permaneça com um acúmulo cada vez maior de cargas elétricas de um único tipo. A figura 4 apresenta de forma esquemática o processo de carregamento.

Figura 4: Estrutura Superior do Gerador



Fonte: Ifisicarioforte (2016)

O gerador de Van de Graaff, devido a sua alta voltagem, pode ser utilizado em outras aplicações, especialmente quando se trata de geradores de grande porte. Esta aplicabilidade foi explorada por Robert Jemilson em aceleradores de partícula, como descreve Moraes (2015):

A partir de então, Robert passou a utilizar seu gerador em suas pesquisas na área de física nuclear, nos primeiros aceleradores de partículas. Os geradores utilizados nos aceleradores chegavam a mais de 12 metros de altura e cúpula de 4 metros de diâmetro (Moraes, 2015, p. 14)

## 2.3 – Aprendizagem Significativa

### 2.3.1 – Teoria da Aprendizagem Significativa

A teoria da aprendizagem significativa foi proposta por David Paul Ausubel, psicólogo norte americano, nascido em 1918 e falecido em 2008. Sobre a vida desse reconhecido pesquisador dos processos de aprendizagem, Moreira (2011) afirma que:

David Ausubel (1918-2008), graduou-se em Psicologia e Medicina, doutorou-se em Psicologia do Desenvolvimento na Universidade de Columbia, onde foi professor no Teachers College por muitos anos. Dedicou sua vida acadêmica ao desenvolvimento de uma visão cognitiva à Psicologia Educacional. (Moreira, 2011, p. 14)

A aprendizagem significativa se caracteriza por se basear em interações entre conhecimentos relevantes, já incorporados na estrutura cognitiva do

indivíduo, e novas ideias, sendo de uma maneira não-litera e que não seja com qualquer ideia prévia, como apresentado por Moreira (2011):

Aprendizagem significativa é aquela em que ideias expressas simbolicamente interagem de maneira substantiva e não-arbitrária com aquilo que o aprendiz já sabe. Substantiva quer dizer não-litera, não ao pé da letra, e não-arbitrária significa que a interação não é com qualquer ideia prévia, mas sim com algum conhecimento especificamente relevante já existente na estrutura cognitiva do sujeito que aprende. (Moreira, 2011, p. 13)

Esse conhecimento já existente e especificamente relevante é denominado por Ausubel de 'subsunçor' ou 'ideia-âncora', conforme especificado por Moreira (2011):

A este conhecimento, especificamente relevante à nova aprendizagem, o qual pode ser, por exemplo, um símbolo já significativo, um conceito, uma proposição, um modelo mental, uma imagem, David Ausubel (1918-2008) chamava de subsunçor ou ideia-âncora (Moreira, 2011, p. 14)

Os subsunçores, por sua vez, têm uma ampla abrangência, por isto, é mais recomendado tratá-los como conhecimentos estabelecidos pelo sujeito que aprende, como descreve Moreira (2011):

O subsunçor é, portanto, um conhecimento estabelecido na estrutura cognitiva do sujeito que aprende e que permite, por interação, dar significado a outros conhecimentos. Não é conveniente "coisificá-lo", "materializá-lo" como um conceito por exemplo. O subsunçor pode ser também uma concepção, um construto, uma proposição, uma representação, um modelo, enfim, um conhecimento prévio especificamente relevante para a aprendizagem significativa de determinados novos conhecimentos. (Moreira, 2011, p. 18)

Ausubel se referia muitas das vezes por 'conceito subsunçor', restringindo assim o significado dos subsunçores, o que leva a se tomar uma abordagem de conhecimento prévio. Moreira (2011) reafirma essa ideia, considerando que

[...] os subsunçores de Ausubel se referem muito mais ao conhecimento declarativo (conceitual), tanto é que muitas vezes ele falava em conceito subsunçor, nomenclatura que, hoje, não nos apreça adequada porque restringe muito o significado de subsunçor, induzindo a que seja pensado como um conceito determinado. Como já foi dito, é melhor considerar o subsunçor como um conhecimento prévio especificamente relevante para uma nova aprendizagem, não necessariamente um conceito. (Moreira, 2011, p. 19)

No contexto da Teoria de Ausubel, a estrutura cognitiva é uma estrutura dinâmica caracterizada em dois processos principais, sendo o primeiro a diferenciação progressiva, caracterizado pela significação de novos conhecimentos, descrito por Moreira (2011) da seguinte forma:

A diferenciação progressiva é o processo de atribuição de novos significados a um dado subsunçor (um conceito ou uma proposição, por exemplo) resultante da sucessiva utilização desse subsunçor para dar significado a novos conhecimentos. (Moreira, 2011, p. 20)

O segundo processo é a reconciliação integradora, consistindo em eliminar diferenças em subsunçores já existentes a fim de consolidá-los, realizando superordenações. Segundo Moreira (2011):

A reconciliação integradora, ou integrativa, é um processo da dinâmica da estrutura cognitiva, simultâneo ao da diferenciação progressiva, que consiste em eliminar diferenças aparentes, resolver inconsistências, integrar significados, fazer superordenações. (Moreira, 2011, p. 22)

O fato de a aprendizagem ser significativa não significa dizer que é a aprendizagem correta, mas que é uma aprendizagem composta pela apreensão de novos conhecimentos com base em um anterior. Moreira (2011) esclarece que

[...] é importante esclarecer outro aspecto da aprendizagem significativa: não é sinônimo de aprendizagem “correta”. [...] Quando o sujeito atribui significados a um dado conhecimento, ancorando-o interativamente em conhecimentos prévios, a aprendizagem é significativa, independente se estes são os aceitos no contexto de alguma matéria de ensino, i.e., de se os significados atribuídos são também contextualmente aceitos, além de serem pessoalmente aceitos. (Moreira, 2011, p. 24)

Segundo Moreira (2011), para que a aprendizagem significativa ocorra, são essencialmente duas condições necessárias. A primeira é que o material de aprendizagem deve ser potencialmente significativo. Sobre esta primeira condição, Moreira (2011) afirma que:

A primeira condição implica 1) que o material de aprendizagem (livros, aulas, aplicativos, ...) tenha significado lógico (isto é, seja relacionável de maneira não-arbitrária e não-litera a uma estrutura cognitiva apropriada e relevante) e 2) que o aprendiz tenha em sua estrutura cognitiva ideias-âncora relevantes com as quais esse material possa ser relacionado. (Moreira, 2011, p. 24)

A segunda condição é que o aprendiz deve apresentar uma predisposição para aprender, ou seja, deve desejar relacionar seus novos conhecimentos a seus conhecimentos prévios. Moreira (2011) reconhece as dificuldades associadas a essa segunda condição, indicando que essa

[...] é talvez mais difícil de ser satisfeita do que a primeira: o aprendiz deve querer relacionar os novos conhecimentos, de forma não-arbitrária e não-literal, a seus conhecimentos prévios. É isso que significa predisposição para aprender. (Moreira, 2011, p. 25)

Sobre o processo de formação dos primeiros subsunçores, Moreira (2011) esclarece que estes podem ser formados durante a fase da infância, onde o sujeito realiza a primeira interação e contato, realizando sucessivos encontros com conceitos, objetos e eventos, através de processos de inferência, descobrimento e representação.

De acordo com Moreira (2011), quando o aprendiz não apresenta subsunçores potenciais para atribuir significados desejados, é possível utilizar de organizadores prévios, um recurso instrucional apresentado em um nível mais alto de abstração e generalidade em comparação ao material de aprendizagem, para que se possa assim iniciar a abordagem de um novo 'subsunçor' ancoradouro. Moreira (2011) considera que o organizador prévio

Não é uma visão geral, um sumário ou um resumo que geralmente estão no mesmo nível de abstração do material a ser aprendido. Pode ser um enunciado, uma pergunta, uma situação-problema, uma demonstração, um filme, uma leitura introdutória, uma simulação. [...] a condição é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente, mais geral e inclusivo que este. (Moreira, 2011, p. 30)

Em contraste com a aprendizagem significativa, existe a aprendizagem mecânica, uma aprendizagem marcada pela memorização. Sobre esse tipo de aprendizagem, Moreira (2011) descreve que

[...] a aprendizagem que mais ocorre na escola é outra: a aprendizagem mecânica, aquela praticamente sem significado, puramente memorística, que serve para as provas e é esquecida, apagada, logo após. Em linguagem coloquial, a aprendizagem mecânica é a conhecida decoreba, tão utilizada pelos alunos e tão incentivada na escola. (Moreira, 2011, p. 32)

Sobre a aprendizagem mecânica, Moreira (2020) afirma que esta é caracterizada por um armazenamento literal das informações que são

estudadas, resultando em aplicações mecânicas e que não requer uma compreensão. O autor afirma que a aprendizagem mecânica e a significativa são extremos de um contínuo, e que a passagem da mecânica para a significativa é não natural e não acontece de maneira automática.

Se as condições de subsunçores adequados, materiais potencialmente significativos e a predisposição do aluno para compreender o que se é estudado não forem atendidas, a aprendizagem predominante será a mecânica e não a significativa.

Mesmo que seja possível a realização de uma aprendizagem significativa não significa dizer que esta é de fato a mais utilizada em ambientes de ensino-aprendizagem, mas sim a mecânica, como afirma Moreira (2020):

É o mais comum no ensino de Física, ou seja, um ensino que estimula a aprendizagem mecânica de fórmulas, definições, leis, respostas, para usá-las, e passar, nas provas, esquecendo tudo pouco tempo depois. Não é exagero, grande parte do ensino da Física na educação básica e superior assim, no Brasil e no Exterior. (Moreira, 2020, p. 3)

A discussão do conceito de carga elétrica, por sua vez, pode ser explorada, ao invés de se decorar a Lei de Coulomb, através de uma proposta de ensino-aprendizagem que se utiliza da aprendizagem significativa como Teoria oportuna para o ensino das propriedades dessa grandeza física, pois “Não tem sentido ensinar Física sem despertar o interesse dos alunos.” (Moreira, 2020, p. 7)

### 2.3.2 – Mapa conceitual

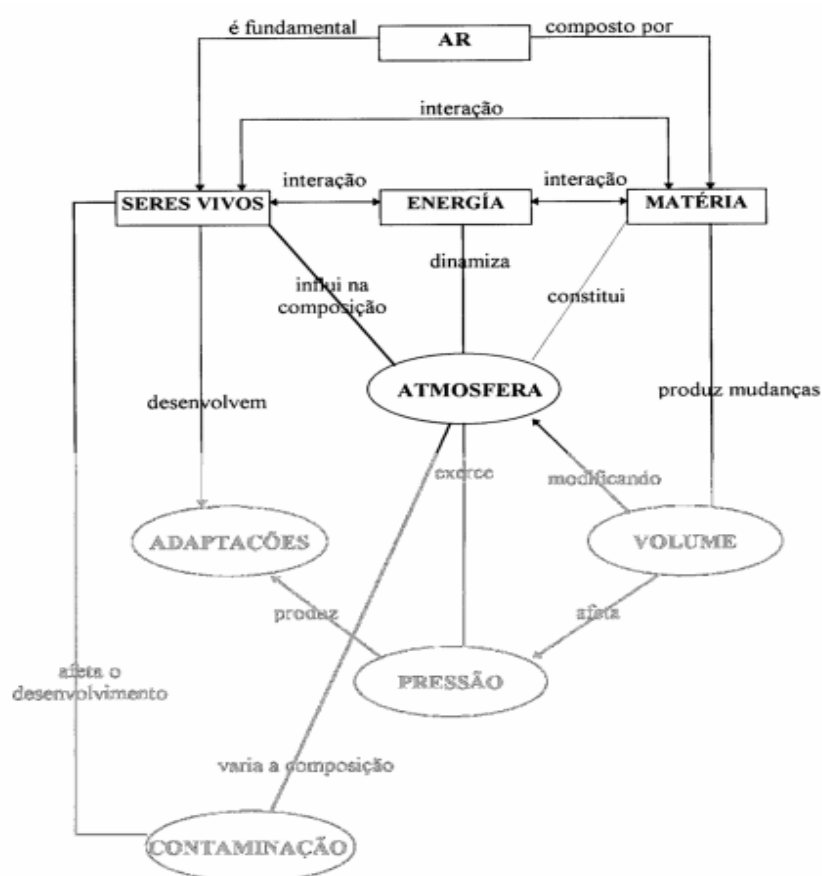
Sobre mapa conceitual, Moreira (2011) afirma que estes são diagramas usados para relacionar conceitos ou palavras que usamos para representar conceitos, e que não possuem necessariamente hierarquia ou uma sequência organizacional. Também não devem ser confundidos com organogramas ou diagramas de fluxo, por mais que muitas vezes incluam setas.

A respeito da funcionalidade bem como de sua aplicabilidade, “Mapas conceituais não buscam classificar conceitos, mas sim relacioná-los e hierarquizá-los.” (Moreira, 2011, p. 124)

Para uma melhor exemplificação, um modelo de mapa conceitual disposto na figura 5. Nela é possível visualizar ao centro o conceito de 'atmosfera' e a partir dela as ligações através de setas, balões e descrições com outros conceitos.

É notável visualizar, por exemplo, o conceito 'ar', que não aparece como derivando de atmosfera, mas sim, outro 'subsunçor' que é composto por matéria, e assim se correlacionando com atmosfera que o constitui. Ou seja, há uma organização, mas não necessariamente uma hierarquia entre estes conceitos.

Figura 5: Mapa conceitual atmosfera



Fonte: Moreira (2011, p. 128)

De acordo com Moreira (2011), mapas conceituais podem apresentar modelos hierárquicos diversos, inclusive nenhum, bem como, devido a sua flexibilidade, serem utilizados em situações diversas, dentre elas: instrumento de análise do currículo, técnica didática, recurso de aprendizagem e meio de avaliação. Usá-lo como meio de avaliação é a qual o presente trabalho se propõe a aplicá-lo.

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 – Procedimento metodológico

O procedimento metodológico deste trabalho está fundamentado em uma abordagem qualitativa, a qual, Godoy (1995) afirma que algumas características básicas identificam os estudos denominados qualitativos.

Segundo esta perspectiva, um fenômeno pode ser melhor compreendido no contexto em que ocorre e do qual é parte, devendo ser analisado numa perspectiva integrada. Para tanto, o pesquisador vai a campo buscando “captar” o fenômeno em estudo a partir da perspectiva das pessoas nele envolvidas, considerando todos os pontos de vista relevantes. Vários tipos de dados são coletados e analisados para que se entenda a dinâmica do fenômeno. (Godoy, 1995, p. 21)

Nesse sentido, a coleta de dados por diversas fontes é adquirida para uma melhor compreensão da dinâmica a ser tratada. Dentre as abordagens qualitativas, especificamente a pesquisa bibliográfica é aquela realizada para a devida construção da sequência didática apresentada neste trabalho. Esta por sua vez é caracterizada por Gil (2023) como a pesquisa que

[...] é elaborada com base em material já publicado. Tradicionalmente, essa modalidade de pesquisa inclui ampla variedade de material impresso, como livros, revistas, jornais, teses, dissertações e anais de eventos científicos. (Gil, 2023, p. 29)

É importante ressaltar que, assim como Gil (2023) afirma, em virtude dos avanços tecnológicos, outros materiais também adentram como fontes bibliográficas, como CDs, microfimes e aqueles disponibilizados na internet.

O dinamismo presente neste trabalho, visando uma ampla abordagem de meios que conectem os organizadores prévios aos conceitos a serem investigados permeiam a ideia salientada por Godoy (1995) que

[...] a abordagem qualitativa, enquanto exercício de pesquisa, não se apresenta como uma proposta rigidamente estruturada, ela permite que a imaginação e a criatividade levem os investigadores a propor trabalhos que explorem novos enfoques. (Godoy, 1995, p. 21)

Por tanto, este trabalho realiza uma abordagem qualitativa através de uma pesquisa bibliográfica mediante a proposição de uma sequência didática.

### 3.2 – Sequência didática

Inicialmente, de acordo com Zabala (1998), toda prática pedagógica precisa ser organizada previamente metodologicamente, para que assim toda a estrutura caminhe em um saber pedagógico reflexivo, onde se sabe o começo e o fim dos seus objetivos.

Ao se realizar as perguntas como ‘Para que educar?’ e ‘Para que ensinar?’, pode-se caminhar para a construção de um fazer pedagógico reflexivo, como Zabala (1998) afirma que o termo ‘sequência didática’ é

[...] definido como sendo “um conjunto de atividades ordenadas, estruturadas e articuladas para a realização de certos objetivos educacionais, quem têm um princípio e um fim conhecidos tanto pelos professores como pelos alunos” (grifos do autor), que não faz distinção entre sequência didática e sequência de atividades, mas aponta alguns critérios para a sua construção, desenvolvimento e avaliação, considerando três fases da intervenção reflexiva, descritas como: planejamento, aplicação e avaliação (Zabala, 1998, *apud*, Ugalde, p. 3).

Zabala descreve quatro fases da aplicação da sequência didática, sendo elas: comunicação da lição, estudo individual do conteúdo, repetição do conteúdo estudado e avaliação ou nota do professor. (Ugalde, 2020, p. 3)

Para tal, o objetivo principal nessa metodologia de ensino, das fases de aplicação é discorrido por Zabala (1998) como

[...] introduzir nas diferentes formas de intervenção aquelas atividades que possibilitem uma melhora de nossa atuação nas aulas, como resultado de um conhecimento mais profundo das variáveis que intervêm e do papel que cada uma delas tem no processo de aprendizagem dos meninos e meninas. (Zabala, 1998, *apud*, Ugalde, p. 3).

Nessa perspectiva, de acordo com Ugalde (2020), para se planejar uma sequência didática deve-se levar em conta os diálogos durante o fazer, as interações entre professor/aluno e aluno/aluno, a reação de cada sujeito com o conteúdo abordado, suas colaborações para o andamento da atividade, o espaço inserido, o tempo e recursos didáticos disponíveis. Cada fator deve ser muito bem-organizado e planejado para que se possa obter êxitos durante as atividades, por consequência, alcançar os objetivos da própria sequência.

Tendo em vista esse estudo bem elaborado de cada detalhe que se faz presente em um contexto de aplicação da sequência didática, em relação as

unidades temáticas que compõem “apesar de que seguidamente se apresentem em classe de modo separado, têm mais potencialidade de uso e de compreensão quanto mais relacionados estejam entre si” (Zabala, 1998, *apud*, Ugalde, 2020).

Sob essa perspectiva, para Ugalde (2020), é de fundamental importância que o professor faça inter-relação entre os conteúdos e conexões entre conhecimentos fragmentado de forma mais harmoniosa possível, para que, dessa maneira, “integrem conteúdos teoricamente isolados ou específicos para incrementar seu valor formativo”. (Zabala, 1998, p.139).

Conforme descrito por Ugalde (2020), em uma perspectiva de Zabala (1998), não há necessariamente uma distinção entre sequências didáticas e sequências de atividades. Para Zabala, há uma organização lógica a ser seguida, planejada em três fases de intervenção reflexiva: planejamento, aplicação e avaliação. Segundo seus critérios, a proposta da sequência didática se enquadra como a fase de planejamento.

### **3.3 – Proposta de uma sequência didática**

Esta sequência didática potencialmente significativa possui alicerces na TAS de David Ausubel e na concepção de sequência didática proposta por Zabala (1998). De acordo com o autor, compreende-se a sequência didática como um conjunto de atividades intencionalmente ordenadas, estruturadas e articuladas em função de objetivos educacionais definidos, com etapas claras de planejamento, desenvolvimento e avaliação.

Nessa perspectiva, a proposta organiza o ensino de eletrostática por meio de aulas que se encadeiam de forma progressiva, integrando diagnóstico inicial, exploração de fenômenos, sistematização conceitual e avaliação.

A estrutura adotada dialoga com a Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel, uma vez que é iniciada a partir dos conhecimentos prévios dos estudantes, utilizando situações e recursos como organizadores prévios (por exemplo, o vídeo sobre raios e os experimentos com o Gerador de Van de Graaff) e busca promover a construção de significados por meio da diferenciação e da integração dos novos conceitos, culminando em atividades de síntese, como o mapa conceitual e o questionário final.

A proposta foi construída visando ser aplicada para turmas de 3ª série do Ensino Médio Regular dialogando com as seguintes habilidades da BNCC:

- (EM13CNT301) Construir questões, elaborar hipóteses, previsões e estimativas, empregar instrumentos de medição e representar e interpretar modelos explicativos, dados e/ou resultados experimentais para construir, avaliar e justificar conclusões no enfrentamento de situações-problema sob uma perspectiva científica;
- (EF08CI02) Construir circuitos elétricos com pilha/bateria, fios e lâmpada ou outros dispositivos e compará-los a circuitos elétricos residenciais;
- (EF08CI03) Classificar equipamentos elétricos residenciais (chuveiro, ferro, lâmpadas, TV, rádio, geladeira etc.) de acordo com o tipo de transformação de energia (da energia elétrica para a térmica, luminosa, sonora e mecânica, por exemplo).

### 3.3.1 - Objetivo Geral

- Apropriar-se do conceito de carga elétrica e dos princípios da eletrostática (atração/repulsão, quantização e conservação de cargas), através uma abordagem potencialmente significativa, a partir da observação de fenômenos com o uso do Gerador de Van de Graaff.

### 3.3.2 - Objetivos específicos

- Realizar experimentações com o Gerador de Van de Graaff para visualizar fenômenos eletrostáticos;
- Construir um Gerador de Van de Graaff de baixo custo com finalidade educativa;
- Elaboração de um mapa conceitual como ferramenta organizadora dos conceitos que envolvem carga elétrica.

### 3.3.3 - Aula 1 (100 minutos)

#### **Etapa 1: Aplicação de questionário**

Aplicar um questionário (Anexo A) para realizar uma sondagem sobre os conhecimentos prévios a respeito do conceito de carga elétrica. Ao final da sequência, será feito um comparativo deste questionário com um segundo realizado (Anexo B) após a aplicação.

#### **Etapa 2: Organizadores prévios**

Após a conclusão dos questionários, mostrar para os alunos o vídeo da matéria O Globo (2016)<sup>1</sup> onde raios atingem o *Empire State*, um dos prédios mais altos dos Estados Unidos, enquanto os demais prédios não recebem descargas elétricas. Ao finalizar o vídeo, o professor deverá realizar as seguintes provocações:

**Provocação 1** – Por que os raios atingem em maior número o prédio mais alto em comparação aos demais?

#### **Respostas esperadas:**

- Pelo prédio ser o mais alto;
- Porque o prédio atrai os raios;
- Pela “antena” presente no topo do prédio.

**Provocação 2** – O raio escolhe onde vai cair?

#### **Possíveis respostas:**

- Sim;
- Não;
- Depende do material.

**Provocação 3** – Se o *Empire State* fosse feito de outro material, como plástico, será que receberia tantos raios?

---

<sup>1</sup> Vídeo flagra momento em que raio atinge o edifício Empire State. O Globo, 27.jul.2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/video-flagra-momento-em-que-raio-atinge-edificio-empire-state-19792733>. Acesso em: 10 nov. 2025.

**Possíveis respostas:**

- Sim;
- Não;
- Não sei.

**Provocação 4** – O que será que acontece com as nuvens antes do raio cair?

**Possíveis respostas:**

- Nada;
- Elas se juntam;
- Elas ficam carregadas.

**A física da aula 1:**

Durante o processo de formação de tempestades, a ocorrência dos raios se dá pelo acúmulo de cargas elétricas nas nuvens, o que termina por gerar uma diferença de potencial em relação ao solo e demais construções, quebrando a rigidez dielétrica do ar e formando-se o raio.

Em virtude de suas alturas, os prédios estão mais próximos das nuvens. Dessa forma, os raios que os atingem estão percorrendo o caminho mais curto entre as nuvens e a Terra. Por esta razão, a maior quantidade de raios atinge o *Empire State* quando comparamos com outros prédios de altura menor.

**3.3.4 - Aula 2 (100 minutos)**

Nesta aula, o professor realizará experimentos utilizando o gerador de Van de Graaff com os estudantes. O procedimento a ser realizado será explicado em etapas.

**Etapa 1:**

Inicialmente apresentar o gerador de Van de Graaff aos estudantes, permitir que visualizem e interajam com as partes do equipamento. Remover a cúpula de metal, apresentar seu interior e apresentar o funcionamento do gerador sem a cúpula, mostrando que a escova superior entra em contato, apenas, com a correia de borracha.

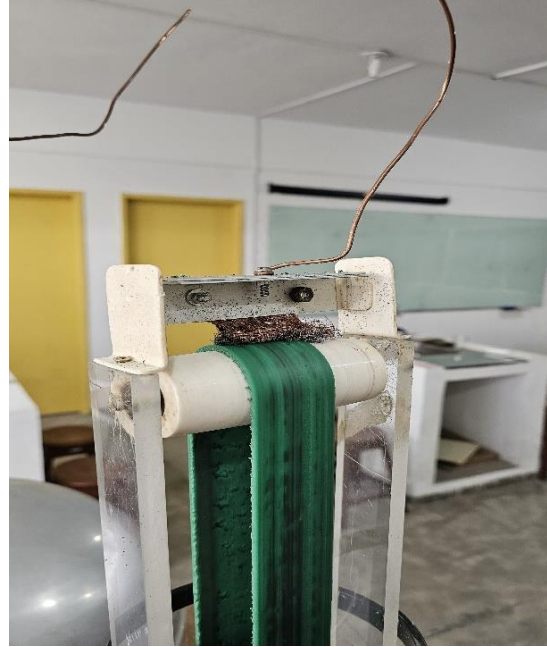
O gerador completo pode ser visualizado na figura 6 (a) e sem a cúpula, na figura 6 (b).

Figura 6(a): Gerador de Van de Graff completo



Fonte: O autor (2025)

Figura 6(b): Gerador sem a cúpula



Fonte: O autor (2025)

O professor deverá prender fitas metálicas sobre a cúpula para, a seguir, ligar o gerador. Ao energizar o gerador, após alguns minutos, as fitas metálicas irão se mover e deverão levantar-se, como indica a figura 7.

Figura 7: Repulsão das fitas de alumínio



Fonte: O autor (2025)

Os estudantes deverão aproximar seus braços da cúpula do gerador, sem tocá-lo. É esperado que eles sintam os pelos se arrepiando ou uma sensação de formigamento.

**Provocação 7** – O que vocês acham que causa esse formigamento e arrepio dos pelos dos braços?

**Possíveis respostas:**

- A eletricidade;
- A carga elétrica;
- Não sei.

**Provocação 8** – O que, no gerador, está fazendo a cúpula de metal ficar carregada?

**Possíveis respostas:**

- O atrito da correia com a escova;
- A eletricidade;
- O motor.

**Provocação 9** – Por que os alumínio se repelem e os fios de cabelo são atraídos?

**Possíveis respostas:**

- O alumínio é de metal;
- O alumínio está carregado, os pelos não.
- Não sei.

**Etapa 2:** Depois das observações realizadas, o professor irá pegar o bastão isolante com a cúpula de metal menor, conectar ao aterramento e aproximar do gerador eletrizado. Um arco elétrico será gerado entre as duas cúpulas. Na figura 8<sup>2</sup> é possível identificar o arco elétrico formado.

---

<sup>2</sup> As figuras 6 (a), 6(b), 7 e 8 são oriundas de fotografias realizadas no Laboratório de Física do Departamento de Ciências Exatas e da Terra da Universidade do Estado da Bahia (Campus II).

Figura 8: Arco elétrico gerado



Fonte: O autor (2025)

**Provocação 10** – O que está acontecendo para se formar esse raio?

**Possíveis respostas:**

- As cargas estão passando do bastão menor para o gerador;
- As cargas estão passando do gerador para o bastão menor;
- Não sei.

**Provocação 11** – Por que, ao se formar o raio, as tiras de alumínio desceram momentaneamente?

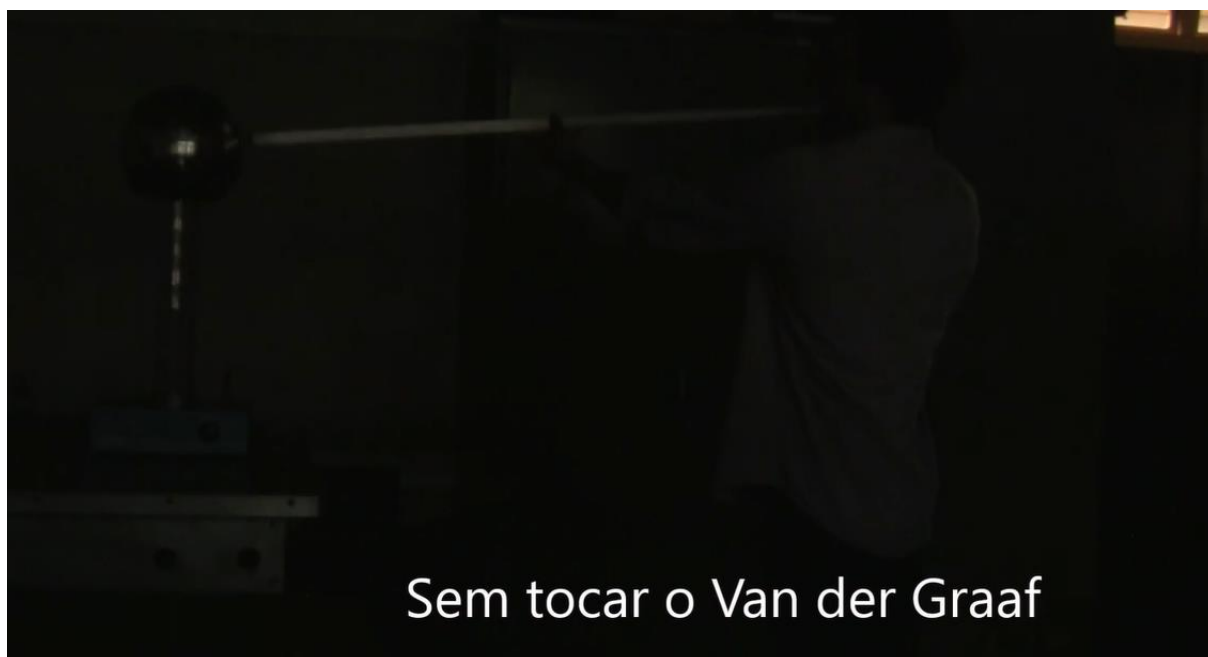
**Possíveis respostas:**

- Porque elas foram atraídas;
- Porque o gerador descarregou;
- Não sei.

**Etapa 3** - O último experimento a ser realizado será a aproximação de uma lâmpada fluorescente do gerador carregado. Para a visualização deste experimento é recomendado que seja aplicado durante a noite ou em um ambiente com baixa luminosidade.

O professor deverá segurar a lâmpada fluorescente pelo corpo de vidro e aproximá-la do gerador. Na figura 9<sup>3</sup> é possível visualizar o procedimento e o fenômeno ocorrido.

Figura 9: Lâmpada fluorescente no gerador



Fonte: Zanin (2017)

**Provocação 12** – O que ocasiona a luminosidade da lâmpada?

**Possíveis respostas:**

- A reação do gás com a eletricidade;
- Passam cargas do gerador para a lâmpada;
- Não sei.

Nas figuras 10(a)<sup>4</sup> e 10(b)<sup>5</sup> são apresentados Qr Codes, cuja leitura por dispositivo móvel, permite a visualização de vídeos que elucidam o funcionamento do Gerador de Van de Graaff.

---

<sup>3</sup> Disponível em: <https://youtu.be/eSUbzFV2Mm4?si=Er7qFXXcZ3JIW33j>

<sup>4</sup> Disponível em:  
[https://drive.google.com/file/d/1oy4\\_C0jGDpHjCv3\\_w2bkhFeJ\\_HJeurBY/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1oy4_C0jGDpHjCv3_w2bkhFeJ_HJeurBY/view?usp=drive_link)

<sup>5</sup> Disponível em:  
[https://drive.google.com/file/d/1LPKRgsjgq7glSkd89bAq4\\_Ni4Jp4PUCO/view?usp=drive\\_link](https://drive.google.com/file/d/1LPKRgsjgq7glSkd89bAq4_Ni4Jp4PUCO/view?usp=drive_link)

Figura 10(a): Funcionamento do Gerador de Van de Graaff    Figura 10(b): Vídeo gerador sem a cúpula



Fonte: O autor (2025)



Fonte: O autor (2025)

### **A física da aula 2:**

Nesta aula é possível visualizar os processos de eletrização por atrito, contato e indução, presentes respectivamente no processo de carregamento do gerador devido ao atrito da correia com as escovas de metal, nas fitas de alumínio presas na cúpula de metal e na eletrização da cúpula pela concentração de cargas na escova.

A concentração de cargas na cúpula metálica permite a geração de um campo elétrico evidenciado pela sensação de formigamento e arrepio dos pelos dos braços. À medida que se aproxima do gerador, o campo fica mais forte, ou seja, a intensidade do campo aumenta com a redução da distância para determinada diferença de potencial.

O princípio da atração e repulsão das cargas elétricas é demonstrado, respectivamente, na repulsão das fitas de alumínio e na atração dos pelos dos braços através do gerador. A análise dos fenômenos permite inferir que o gerador está carregado com um único tipo de carga.

Ao aproximarmos o bastão da cúpula do gerador, a diferença de potencial entre as partes supera a rigidez dielétrica do ar (valor máximo de ddp em que o ar é isolante elétrico). O ar, então, torna-se condutor, permitindo a passagem de corrente entre as cúpulas, que é visualizado pelo raio formado.

Durante a formação do raio, a cúpula do gerador se descarrega momentaneamente. As fitas de alumínio também se descarregam e, como consequência, param de se repelir.

Na lâmpada, por sua vez, ocorre uma indução de cargas no gás em seu interior, devido ao campo elétrico do gerador. A ionização desse gás pode ser vista através da luminosidade momentânea produzida pela lâmpada.

### 3.3.5 - Aula 3 (100 minutos)

#### **Etapa 1: Construção de um gerador de baixo custo**

Para a última aula desta sequência, o professor irá propor a construção de um gerador de Van de Graaff com materiais de baixo custo.

#### **Materiais necessários:**

##### **1. Coluna de apoio**

- Tubo de PVC rígido (por exemplo, tubo de PVC de 3/4");
- Base para fixar o tubo (madeira, MDF, compensado ou plástico).

##### **2. Roletes (cilindros)**

- Dois roletes (superior e inferior). Por exemplo, roletes de nylon, plástico rígido ou outro material;
- Barras ou eixos para os roletes (para montar rolamentos);
- Rolamentos (podem ser rolamentos de *skate* ou similares) para permitir rotação suave.

##### **3. Correia**

- Uma fita ou correia isolante (não condutora). Pode ser borracha, material de cortina, ou outro material;
- Cola ou adesivo para unir as pontas da correia (para formar um *loop*).

##### **4. Escovas / pentes de coleta de carga**

- Dois 'pentas' metálicos (escovas): um na parte inferior (perto do rolete inferior) e outro na parte superior (próximo à esfera);
- Fios condutores para conectar os pentes (se necessário).

## 5. **Cúpula metálica**

- Uma lata de refrigerante vazia para servir como cúpula metálica;
- Parafusos, porcas e arruelas para fixar a esfera no topo da coluna.

## 6. **Motor para movimentar a correia**

- Um motor pequeno (por exemplo, motor DC ou motor de máquina de costura ou outro motor com rotação adequada);
- Fonte de alimentação para o motor (dependendo do motor escolhido) ou conexão para usar uma furadeira/dril para girar.

## 7. **Fixação / estrutura de suporte**

- Parafusos, porcas, arruelas, suportes para montar a coluna, os roletes e o motor;
- Placa de base (madeira ou plástico) para montar tudo de forma estável.

## 8. **Fios e ligações elétricas**

- Fio condutor (cobre) para conectar os pentes se necessário;
- Fita isolante (poderá usar fita Teflon ou semelhante) para isolar partes onde não quer descarga indesejada.

## 9. **Ferramentas**

- Tesoura ou estilete para cortar a correia;
- Furadeira ou ferramenta para fazer furos no tubo de PVC e na base;
- Chave, parafusos, alicates, martelo conforme necessário;
- (Opcional) Lixa ou lixa fina para dar acabamento nos eixos ou acoplar componentes.

## 10. **Aterramento / descarregador**

- Pode ser útil ter um fio de descarga (ou 'martelo de descarga') para descarregar a cúpula com segurança quando for manusear;
- Uma base isolante para evitar perdas de carga por contato com o chão.

## **Etapas de montagem<sup>6</sup>:**

### **1. Planejamento e desenho**

- Defina o tamanho da coluna (altura) de acordo com o tamanho da correia e cúpula que você vai usar;
- Faça um esboço da montagem: onde vão os roletes, onde o motor ficará, e onde os pentes (escovas) serão posicionados.

### **2. Construir a base**

- Fixe a base de madeira ou placa plástica no chão ou em uma mesa;
- Monte a coluna de PVC na base, garantindo que fique bem firme.

### **3. Montagem dos roletes**

- Instale os rolamentos nos eixos que vão nos roletes;
- Fixe os roletes nos eixos e posicione um na parte superior da coluna e outro na parte inferior;
- Certifique-se de que os roletes possam girar livremente.

### **4. Fixar o motor**

- Monte o motor na base, de modo que consiga transmitir rotação para o rolete inferior;
- Ajuste o alinhamento do eixo do motor com o rolete para garantir que a correia fique bem alinhada.

### **5. Instalar a correia**

- Corte a correia de acordo com o comprimento necessário para dar a volta entre os roletes;
- Una as extremidades da correia para formar um *loop* (usar cola, por exemplo);
- Coloque a correia sobre os roletes, tensionando de forma adequada para que não escorregue, mas também sem deformar.

---

<sup>6</sup> Um vídeo do gerador de baixo custo completo e em funcionamento pode ser visto em: <https://youtu.be/q5EP1WUjvkM?si=4Ze2dMfcTuGFgf-v>

## 6. Adicionar os pentes metálicos (escovas)

- Fixe o pente metálico perto do rolete inferior, de modo que 'escove' a correia conforme ela passa. Esse pente vai coletar ou depositar carga (dependendo do *design*);
- Fixe o segundo pente próximo ao topo, perto da esfera, para transferir a carga da correia para a esfera;
- Conecte os pentes com fios se precisar conduzir a carga até alguma parte (como aterramento ou a esfera).

## 7. Montagem da cúpula

- Prepare a lata de refrigerante e fixe-a no topo da coluna;
- Certifique-se de que a lata esteja bem presa e bem conectada (se necessário) ao pente superior para transferência de carga.

## 8. Teste do movimento

- Ligue o motor e verifique se a correia se move de forma estável, sem escorregar ou pular dos roletes;
- Ajuste a tensão da correia se necessário (por exemplo, ajustando a posição do motor ou dos roletes).

## 9. Ajuste da posição dos pentes

- Ajuste a distância entre os pentes metálicos e a correia para otimizar a coleta ou deposição de carga. Em muitos designs, é bom que a escova fique bastante próxima à correia, mas sem contato forte;
- Faça experimentos para ver onde a escovação funciona melhor (pode variar conforme materiais usados).

## 10. Teste de carga e segurança

- Uma vez que a correia esteja rodando, use um bastão de descarga ou um fio para verificar se a cúpula está se carregando;
- Tenha cuidado para descarregar a esfera antes de tocar nela: use um fio ou bastão conectado à terra para fazer isso;

- Faça experiências simples (como aproximar pequenos pedaços de papel, lã ou fio) para ver efeitos eletrostáticos.

Na figura 11 podemos visualizar um modelo de um gerador de baixo custo construído

Figura 11: Gerador de baixo custo



Fonte: Prof. Ivo (2020)

### 3.3.6 - Aula 4 - Processo Avaliativo (100 minutos)

#### **Etapa 1: Construção do mapa conceitual**

Os estudantes deverão construir em papel ofício um mapa conceitual. O professor deve incentivar a criatividade na construção desse mapa, solicitando que os estudantes usem cores e desenhos variados.

A temática do mapa deverá ser 'Carga elétrica' e precisa contemplar os seguintes conceitos:

- Definição de carga elétrica;

- Princípios da eletrostática;
- Processos de eletrização;
- Força elétrica;
- Campo elétrico;
- Gerador de Van De Graaff.

O quadro abaixo ilustra um exemplo de organização das possíveis informações a serem abordadas no mapa.

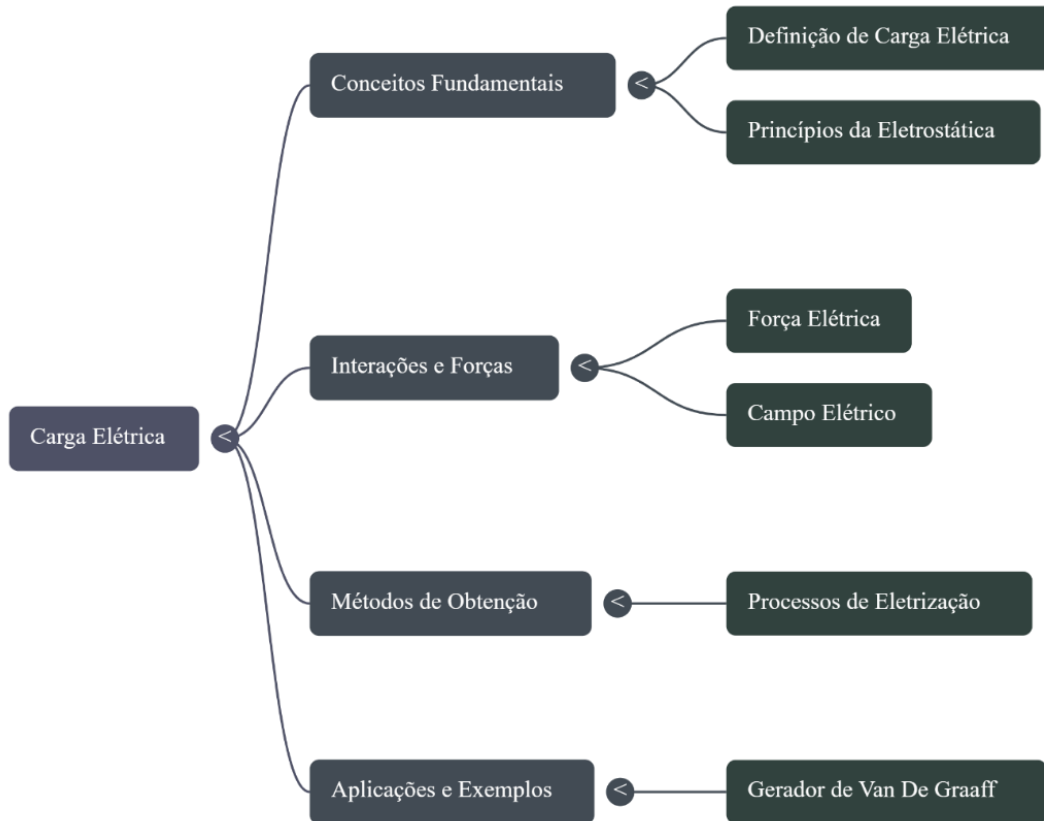
Quadro 1 - Informações para construção do mapa conceitual

<b>Conceito A</b>	<b>Relação</b>	<b>Conceito B</b>
Processos de Eletrização	<b>Geram</b> um desequilíbrio na	Carga Elétrica
Carga Elétrica	<b>Causa a</b>	Força Elétrica (Lei de Coulomb)
Força Elétrica	<b>Define o</b>	Campo Elétrico
Gerador de Van De Graaff	<b>Utiliza os</b>	Princípios da Eletrostática (Atrito, Condução e Indução)

Fonte: O autor (2025)

A figura 12 apresenta um modelo de Mapa Conceitual.

Figura 12: Mapa conceitual de Carga Elétrica



Fonte: O autor (2025)

## Etapa 2: Aplicação de questionário

Após a construção e experimentação entregar o segundo questionário para realizar a comparação com o primeiro, disponível no anexo B.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho possibilitou a investigação do potencial didático-pedagógico do Gerador de Van de Graaff para a compreensão do conceito de carga elétrica em uma perspectiva Ausubeliana.

Foram realizados experimentos para identificação da presença de cargas elétricas e campo elétrico em um Gerador de Van de Graaff. Por fim, realizou-se a proposição da construção de um Gerador de Van de Graaff de baixo custo como material potencialmente significativo para o ensino de carga elétrica.

A proposta da sequência didática potencialmente significativa traz, separada por aulas e etapas de aplicação, circunstâncias que visam favorecer a interação dos estudantes com situações cotidianas, como raios em dias de tempestades, visando uma associação dos conceitos e conhecimentos já preexistentes com novos conhecimentos, a fim de possibilitar uma melhor compreensão do conceito de carga elétrica.

A realização de experimentos no Gerador de Van de Graaff permite a visualização de conceitos que são normalmente expostos de maneira abstrata, como as ideias de atração e repulsão entre cargas elétricas. No contexto apresentado neste trabalho, é possível observar esses fenômenos nitidamente, por exemplo, pelo movimento das fitas de alumínio presas na cúpula metálica do gerador.

Construir um gerador de baixo custo possibilita a compreensão dos fenômenos físicos envolvidos em seu funcionamento. Utilizar materiais em sua maioria recicláveis pode contribuir para uma visão da aplicação da física em situações cotidianas, não restrita aos grandes laboratórios, além de facilitar a reprodutibilidade da proposta aqui apresentada.

A organização de um mapa conceitual permite uma melhor manipulação das ideias trabalhadas e discutidas, fazendo com que os estudantes possam construir a linha de pensamento que mais se adequa para a organização dos 'subsunçores' e o 'ancoramento' de novos conceitos.

A proposta da sequência didática pode colaborar na interação entre discentes e docentes durante as aulas, principalmente por meio das provocações, o que leva o estudante a se sentir motivado a questionar, diante

dos conhecimentos prévios que já possui, podendo, assim, aprender de forma significativa.

Este trabalho poderá ser aplicado pelos professores em ambientes do ensino regular do ensino médio, utilizando materiais recicláveis, como latas de refrigerante e canos PVC para a construção do gerador, o que aprofunda a ideia de experimentação e investigação no ambiente de sala de aula.

O potencial de aplicabilidade também pode se estender aos ambientes acadêmicos de nível superior, principalmente nos cursos de licenciatura, como material de apoio preparatório para formação, possibilitando a visualização do comportamento das cargas elétricas.

Após completar a licenciatura, este trabalho poderá servir como elemento norteador de futuras pesquisas em minha vida acadêmica. A aplicação desta sequência didática traz a possibilidade de uma observação participante, onde poderei construir instrumentos que tenham como objetivo mapear indicadores de aprendizagem significativa sobre o conceito de carga elétrica.

## REFERÊNCIAS

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

BRASIL. Ministério da Educação. **Base Nacional Comum Curricular**. Brasília: MEC/Secretaria de Educação Básica, 2022.

CHASSOT, Attico. Alfabetização científica: uma possibilidade para a inclusão social. **Revista Brasileira de Educação**, Rio de Janeiro, n. 22, p. 129-140, jan./abr. 2003.

DATAFOLHA. 90% dos brasileiros acreditam que a terra é redonda. **Folha de S.Paulo**, São Paulo, 24 abr. 2024. Disponível em: <https://datafolha.folha.uol.com.br/opiniao-e-sociedade/2024/04/90-dos-brasileiros-acreditam-que-a-terra-e-redonda.shtml>. Acesso em: 3 set. 2025

GIL, Antônio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 7. ed. [2ª Reimp.]. São Paulo: Atlas, 2023.

GODOY, Arilda Schmidt. **Pesquisa qualitativa tipos fundamentais**. Revista de Administração de Empresas, São Paulo, v. 35, n.3, p. 20-29, jun. 1995.

HALLIDAY, David. **Fundamentos de física, volume 3: eletromagnetismo**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

IFISICARIOFORTE. Estrutura superior do Gerador. **Ifísica Rio Forte**, 2016. Disponível em: <https://ifisicarioforte.blogspot.com/2016/06/gerador-de-van-de-graaff.html>. Acesso em: 02 out. 2025.

INFOESCOLA. Modelo do Gerador de Van de Graaff. **Info Escola**, 2025. Disponível em: <https://www.infoescola.com/wp-content/uploads/2010/09/gerador-van-der-graaf.jpg>. Acesso em: 21 jul. 2025

MOÇAMBITE, Nixon da Silva. **Gerador de van de graff: conceitos de eletrostática baseado na experimentação**. Monografia (Tecnólogo curso Tecnologia Industrial) – Instituto Federal do Amazonas. Amazonas, 2022.

MORAIS, Istenio Nunes. **Construção e aplicação do gerador de van der graff de baixo custo nas aulas de física no ensino médio com participação dos estudantes**. Monografia (Licenciatura em Física) – Universidade Federal de Alfenas. Minas Gerais, 2015.

MOREIRA, Marco Antônio. **Aprendizagem significativa: a teoria e textos complementares**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. **Mapa conceitual atmosfera**. São Paulo: Livraria da Física, 2011.

MOREIRA, Marco Antônio. Desafios no ensino da física. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, Porto Alegre, vol. 43, n. 1, p. 1-8, out. 2020.

NUSSENZVEIG, Herch Moysés. **Curso de física básica 3 eletromagnetismo**. 1. ed. São Paulo: Edgard Blücher, 1997.

OGLOBO. **Vídeo flagra momento em que raio atinge o edifício Empire State**. 27.jul.2016. Disponível em: <https://oglobo.globo.com/brasil/video-flagra-momento-em-que-raio-atinge-edificio-empire-state-19792733>.

PROFESSORDEQUIMICA. Modelo atômico de Rutheford. **Professor de Química**, 2024. Disponível em: [https://www.professordequimica.com.br/imagens/conteudo/05537\\_modelo\\_atomico\\_Rutherford.jpg](https://www.professordequimica.com.br/imagens/conteudo/05537_modelo_atomico_Rutherford.jpg). Acesso em: 12 jul. 2025.

UGALDE, M. C. P; ROWEDER, C. Sequência didática: uma proposta metodológica de ensino-aprendizagem. **Revista de Estudos e Pesquisa sobre Ensino Tecnológico (EDUCITEC)**, v. 6, Edição Especial, e099220, 2020.

YAMAMOTO, Kazuhito; FUKU, Luiz Felipe. **Física para o ensino médio, vol 3: eletricidade, física moderna**. 4. ed. São Paulo: Saraiva, 2016.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Física 3 eletromagnetismo**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Medição da força elétrica entre cargas puntiformes**. 14. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015.

ZABALA, Antoni. **A prática educativa como ensinar**. Tradução: Ernani F. da F. Rosa. Reimpressão 2010. Porto Alegre: Artmed, 1998.

ZANIN, Hudson. **Efeito da distância no Potencial Elétrico. Van der Graaf acende a Lâmpada fluorescente**. YouTube, 22 mar. 2017. Disponível em: <https://youtu.be/eSUBzFV2Mm4?si=Md5bMOiivnhTxkl7>. Acesso em: 25 nov. 2025.

## APÊNDICES

### Apêndice A:

#### Questionário Prévio:

01) Você já ouviu falar no termo “carga elétrica”? Se sim, o que acha que significa?

---

---

---

02) Existe alguma diferença entre raio, relâmpago e trovão? Se sim, qual(is)?

---

---

---

03) É possível produzir ou observar fenômenos semelhantes aos raios em pequena escala dentro de uma sala de aula? Como?

---

---

---

04) Por que algumas pessoas dizem que o para raios “atrai” os raios? Isso é verdade?

---

---

---

05) Você acha que o ar pode “conduzir” eletricidade? Se sim, o que é preciso para isso acontecer?

---

---

---

**Apêndice B:**

Questionário Final:

01) Descreva com suas palavras: o que é carga elétrica?

---

---

---

02) Diferencie 'raio', 'relâmpago' e 'trovão'.

---

---

---

03) Explique como é possível produzir fenômenos semelhantes aos raios em pequena escala dentro de uma sala de aula.

---

---

---

04) Por que algumas pessoas dizem que o para raios "atrai" os raios? Isso é verdade?

---

---

---

05) Explique em que circunstâncias o ar pode conduzir corrente elétrica.

---

---

---