



**TERRELLA: USO DO MODELO SIMPLIFICADO DE GEODÍNAMO COMO  
ESTRATÉGIA PARA O ENSINO SIGNIFICATIVO DO ELETROMAGNETISMO**

**Robson Lima Pereira do Nascimento**

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

Orientador:

Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda

Recife-PE  
Fevereiro/2019

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Biblioteca Central, Recife-PE, Brasil

N246t Nascimento, Robson Lima Pereira do.  
Terrella: uso do modelo simplificador de geodínamo como estratégia para o ensino significativo do eletromagnetismo / Robson Lima Pereira do Nascimento. – Recife, 2019.  
139 f.: il.

Orientador(a): Antônio Carlos da Silva Miranda.  
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Programa de Pós-Graduação em Mestrado Profissional de Ensino de Física, Recife, BR-PE, 2019.  
Inclui referências e apêndice(s).

1. Teoria da aprendizagem significativa 2. Geodínamo 3. Terrella I. Miranda, Antônio Carlos da Silva, orient. II. Título

CDD 530.07

**TERRELLA: USO DO MODELO SIMPLIFICADO DE GEODÍNAMO COMO  
ESTRATÉGIA PARA O ENSINO SIGNIFICATIVO DO ELETROMAGNETISMO**

**Robson Lima Pereira do Nascimento**

Orientador: Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda

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

Aprovada por:

---

Prof. Dr. Antônio Carlos da Silva Miranda

---

Prof. Dr. Alexandro Cardoso Tenorio

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Pavão

Recife - PE  
Fevereiro/ 2019

## DEDICATÓRIA

Dedico em primeiro lugar este mestrado aos meus pais Antônio Pereira do nascimento e Zuleide Maria de Lima que foram meus grandes incentivadores. Sem vocês este trabalho e muitos dos meus sonhos não se realizariam.

À mulher da minha vida, Ingridy Tainan, pelo apoio. Sem você, nenhuma conquista valeria a pena.

Ao meu sogro Luciano Santos e minha sogra Edileuza Silva pelo incentivo de sempre. Deus abençoe vocês.

Ao meu tio Severino José de Lima (in memoriam). Você se foi antes que eu ingressasse no curso de Licenciatura em física da UFPE em 2004, mas sempre acreditou que eu conseguiria chegar mais longe, mesmo quando não fui aprovado no meu primeiro vestibular. Essa conquista teve a sua contribuição.

Ao amigo Paulo Victor (in memoriam) pelos grandes momentos de alegria compartilhados. Conviver com uma pessoa tão iluminada foi uma das melhores experiências da minha formação acadêmica.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por guiar meus passos, levando a realização de mais um sonho;

À minha família, em especial a Rogério Lima (irmão) pela ajuda na leitura e estímulo para conclusão deste trabalho;

Ao Prof. Miranda, o meu reconhecimento pela oportunidade de realizar este trabalho ao lado de alguém que transpira sabedoria; meu respeito e admiração por sua dedicação em prol da divulgação científica. Sei que seu trabalho tem colhido e bons frutos, um deles se verifica na conclusão deste trabalho;

A realização de um projeto de pesquisa como este só foi possível com o apoio de vários colaboradores. Aos professores que abraçaram a causa deste mestrado profissional em Pernambuco, aprendi muito com todos vocês, tanto da UAG em Garanhuns sob a coordenação do professor Alberto Einstein, como na UFRPE em Recife sob a coordenação do professor Aduino Souza, meus sinceros agradecimentos;

A CAPES, pelo apoio financeiro e a SBF pela iniciativa de criar esse mestrado voltado a professores, a qualidade do ensino de física no Brasil melhorará muito nos próximos anos através dos novos mestres em física.

Ao amigo Hercílio P. Cordova, pela colaboração na construção do produto educacional Terrela, a troca de conhecimento entre dois professores de física aliada a sua perícia técnica, abrilhantaram o experimento a construção desse experimento;

Aos amigos do mestrado companheiros nessa empreitada, em especial aos amigos Marlon Pérciles e Roberto França do IFPE, George Pereira amigo de longa data e a Dra. Jeine Emanuele pessoas por quais tenho grande carinho e admiração.

*Não tenho nenhuma nova descoberta para apresentar aos senhores esta noite. Devo pedir que revejam um tema muito antigo e que voltem sua atenção para uma questão que tem sido levantada repetidamente desde que os homens começaram a pensar: a questão da transmissão da força.*

James Clerk Maxwell, em comunicação com a Royal Society, em 1854.

## RESUMO

Neste trabalho são abordados aspectos históricos do eletromagnetismo, além de serem tratados os conceitos físicos fundamentais para o entendimento da teoria do geodínamo. Também foi destacada a importância da experimentação no processo de ensino e aprendizagem do eletromagnetismo, levando em consideração dois aparatos experimentais chamados de Terrella que constituem nosso produto educacional. Nesta pesquisa foi realizada uma análise sobre a contribuição da Terrella para o ensino significativo do eletromagnetismo, tendo como referencial teórico na parte educacional a teoria de aprendizagem significativa de David Paul Ausubel (1918-2008), fazendo uso dos organizadores prévios no objetivo de fornecer ou aprimorar os conhecimentos prévios dos alunos preparando-os para o conteúdo que seria ministrado. Na aplicação da Terrella junto aos estudantes foi adotada a abordagem metodológica CTS (Ciência, tecnologia e sociedade). A experimentação auxiliou o processo de ensino e aprendizagem significativa do eletromagnetismo contribuindo para a ancoragem do conceito de geodínamo. O produto educacional proposto pode ser utilizado por professores de física ou de áreas afins, como elemento facilitador do ensino significativo do eletromagnetismo, pois auxilia na compreensão do conceito de campo magnético, oportunizando um conhecimento físico mais próximo do mundo vivencial dos alunos.

**Palavras chaves:** Teoria da aprendizagem significativa, Geodínamo, Terrella.

## ABSTRACT

In this research, historical aspects of electromagnetism are addressed, as well as the fundamental physical concepts for the understanding of geodynamo theory. It was also highlighted the importance of experimentation in the teaching-learning process of electromagnetism, taking into account two experimental apparatus called Terrella that constitute our educational product. This research sought to analyze if the Terrella can contribute to the meaningful teaching of electromagnetism, for that purpose, as a theoretical reference in the educational part it was used the theory of meaningful learning of David Paul Ausubel (1918-2008), making use of the previous organizers with the objective of providing or improving previous knowledge of the students, preparing them for the content that would be taught. In the application of the terrella to the students, the STS (Science, technology and society) methodological approach was adopted. Experimentation assisted the teaching-learning process of electromagnetism, contributing to the anchoring of geodynamo concept. The proposed educational product can be used by teachers of Physics or related areas as a facilitator for the meaningful teaching of electromagnetism, as it helps understanding the concept of magnetic field, providing a physical knowledge closer to the experiential world of students.

**Keywords:** Theory of meaningful learning, Geodynamo, Terrella.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Gerador Eletrostático desenvolvido por Von Guericke.....	18
Figura 2: Demonstração pública da eletricidade em 1729.....	19
Figura 3: Garrafa de Leyden .....	19
Figura 4: Benjamin Franklin.....	20
Figura 5: Benjamin Franklin entre Pipas e trovões .....	21
Figura 6: Joseph Priestley .....	22
Figura 7: Um dos experimentos utilizados por Joseph Priestley, por meio dele ele categorizava os materiais em condutores e não condutores.....	23
Figura 8: Willian Gilbert e a Terrella .....	27
Figura 9: Capa do livro De Magnete de Willian Gilbert.....	28
Figura 10: Terrella de Gilbert.....	28
Figura 11: A Terra e seu campo magnético .....	29
Figura 12: Hans Christian Oersted .....	32
Figura 13: Experimento de Oersted .....	32
Figura 14: André Marie Ampère .....	33
Figura 15: Biot e Savart.....	33
Figura 16: Representação de um campo clássico através de sua aura contínua e homogênea .....	34
Figura 17: Michael Faraday e seu dínamo .....	37
Figura 18: James Clark Maxwell .....	38
Figura 19: O elétron e seu movimento orbital.....	39
Figura 20: O elétron e seu Spin.....	40
Figura 21: Elétrons como minúsculos ímãs .....	41
Figura 22: Experiência de Stern-Gerlach .....	41
Figura 23: Alinhamento dos dipolos magnéticos .....	43
Figura 24: Dipolo magnético resultante .....	43
Figura 25: Linhas de campo magnético representando o comportamento do campo na repulsão e atração de ímãs. ....	44
Figura 26: Material ferromagnético alinhamento dos dipolos magnéticos formando polos norte e sul .....	44
Figura 27: Bússola se alinhando ao redor de um ímã .....	45
Figura 28: Ímã, seu momento magnético resultante e seu campo magnético.....	45
Figura 29: Curva fechada envolvendo correntes elétricas.....	48
Figura 30: Fio percorrido por corrente elétrica saindo do plano da página .....	49
Figura 31: Campo magnético ao redor do fio alinhando a bússola. ....	50
Figura 32: Campo magnético produzido por uma corrente elétrica constante num fio retilíneo longo.....	51
Figura 33: Regra da mão direita ela fornece o sentido do campo magnético.....	51

Figura 34: Campo magnético $\Delta B$ gerado a partir um pequeno segmento de fio $\Delta L$ , a uma distância $r$ onde situa-se o ponto $P$ contido num plano $\pi$ .....	52
Figura 35: Regra da mão direita para determinar o campo magnético numa espira percorrida por corrente elétrica. ....	53
Figura 36: Espira percorrida por corrente elétrica tem comportamento aproximado de um imã.....	54
Figura 37: Movimento relativo entre o imã e a espira gerando fenômeno da indução eletromagnética.....	55
Figura 38: Representação Do Fluxo De Campo Magnético Na Superfície de área $A$ . .....	56
Figura 39: Corrente induzida na espira pelo resultado da variação do campo magnético dentro da espira. ....	57
Figura 40: Campo elétrico induzido pela variação da intensidade do campo magnético representando a lei de indução de Faraday.....	58
Figura 41: Campo magnético terrestre modelo do imã dipolar.....	61
Figura 42: Estrutura da Terra. ....	62
Figura 43: A temperatura nas diversas camadas da Terra.....	63
Figura 44: Origem do campo magnético terrestre .....	64
Figura 45: Cinturões de Van Allen.....	67
Figura 46: Partículas do vento solar interagindo como o CMT. ....	68
Figura 47: Movimento convectivo do fluido. ....	70
Figura 48: Representação das linhas de campo magnético no interior do fluido. ....	71
Figura 49: Representação das duas componentes do campo magnético da Terra. .	72
Figura 50: Torção das linhas de campo toroidal devido ao movimento turbulento helicoidal ascendente das bolhas de plasma. ....	72
Figura 51: Os efeitos $(\alpha)$ e $(\omega)$ .....	73
Figura 52: Dínamo $(\alpha-\omega)$ , efeito Omega (A-D) e o efeito alpha (D-F), cujo efeito final é semelhante a um campo de um imã dipolar.....	73
Figura 53: Dínamo da Terra .....	74
Figura 54: Campo magnético dos planetas do sistema solar cuja origem é associada ao dínamo interno. ....	76
Figura 55: Galileu e as manchas solares vistas por ele em 1609. ....	77
Figura 56- Magnetares: estrelas como maior campo magnético que se conhece atualmente.....	78
Figura 57-Palitos de picolé em forma de cruz. ....	92
Figura 58: a) Imã em forma de barra b) Imã unido aos palitos com fita dupla face. ...	92
Figura 59: Imã e seus suportes feitos de palitos fixados no globo com fita dupla face. .....	93
Figura 60: Suporte de madeira feita por um marceneiro. ....	93
Figura 61: Modelo de Terrella com um imã no seu interior .....	94
Figura 62: Bobinas de campo magnético numerada .....	95
Figura 63: Coluna de alumínio 3/8" de diâmetro e 12 cm de altura colada na esfera com resina epóxi®.....	96

Figura 64: Chave liga/desliga .....	97
Figura 65: Chave de reversão H de 127/220 V .....	98
Figura 66: Fixação das caixas patola e da haste de alumínio na base. ....	98
Figura 67: Imagem real caixas patola fixa na base de alumínio. ....	99
Figura 68: Parte de baixo da base de alumínio e os parafusos usados para fixar a haste.....	99
Figura 69: Globo de vidro de 100 mm de diâmetro à direita o globo fixo nos suportes com silicone.....	100
Figura 70: Bobinas adesivadas com cores diferentes: verde, Vermelha e amarelo para indicação do sentido da corrente.....	100
Figura 71: Fonte de alimentação: suporte para quatro pilhas AA de 1.5 V. ....	101
Figura 72: Esquema elétrico da Terrella.....	101
Figura 73: Imagem real: Modelo de Terrella (Geodínamo simplificado).....	102
Figura 74: a) Alinhamento da bússola de acordo com a corrente elétrica na bobina verde b) Invertendo-se a corrente a bússola se orienta no sentido contrário .....	103
Figura 75: Etapas da metodologia adotada para execução de atividades. ....	106
Figura 76: Maquetes utilizadas.....	107
Figura 77: Exibição da reportagem na primeira turma.....	109
Figura 78: Exibição da reportagem na segunda turma.....	110
Figura 79: Apresentação da Terrella e a interação dos alunos .....	113

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Equações de Maxwell.....	59
Tabela 2: Temperatura Curie para as principais substâncias Ferromagnéticas.....	64
Tabela 3: Campo magnético valores típicos.....	65

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Comparativo Pré-teste/Pós-teste da turma 01 .....	115
Gráfico 2: Comparativo: Pré-teste/Pós-teste da turma 02 .....	116

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO .....	12
2. ELETROMAGNETISMO E A TEORIA DO GEODÍNAMO .....	16
2.1. Contexto histórico.....	16
2.1.1 Descobrimos a eletricidade .....	17
2.1.2. Esperando nos bastidores: O magnetismo .....	24
2.1.3 O Nascimento do eletromagnetismo e o conceito de campo como transmissor de força .....	30
2.2 As leis do eletromagnetismo .....	38
2.2.1 A origem microscópica do magnetismo na matéria .....	38
2.2.2 A formulação matemática das leis do eletromagnetismo .....	46
2.2.2.1 A Lei de Ampère.....	47
2.2.2.2 A lei de Biot-Savart.....	52
2.2.2.3 A Lei de Faraday .....	55
2.2.2.4 As equações de Maxwell: O triunfo dos campos .....	58
2.3 A teoria do Geodínamo .....	60
2.3.1 A origem do campo magnético da Terra e sua importância .....	60
2.3.2 O dínamo terrestre .....	68
2.3.3 Campo magnético: Um ingrediente universal.....	75
3. ENSINO DE ELETROMAGNETISMO NO CONTEXTO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA .....	80
3.1 O ensino tradicional e a crise da educação científica.....	80
3.2 As dificuldades no ensino do eletromagnetismo e a proposta construtivista da experimentação modelizadora .....	82
3.3 A aprendizagem significativa de Ausubel no contexto construtivista e o experimento modelizador .....	84
3.4 A abordagem CTS e o ensino significativo.....	87
4. PRODUTO EDUCACIONAL TERRELLA E SUA APLICAÇÃO .....	91
4.1 Primeiro modelo: Modelo de Terrella com um ímã no seu interior .....	91
4.2 Segundo modelo: Modelo de Terrella com espiras em seu interior.....	94
4.3 Procedimentos metodológicos .....	103

4.3.1 Pré- Teste e discussão para levantamento de conhecimentos prévios.....	106
4.3.2 Utilização da abordagem CTS: Exibição da reportagem .....	108
4.3.3 Aula temática com utilização da Terrella e aplicação do pós-teste .....	110
5. RESULTADOS DO PRÉ-TESTE/ PÓS-TESTE E SUA ANÁLISE.....	115
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	121
REFERÊNCIAS .....	123
APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL TERRELLA.....	130
APÊNDICE B: PRÉ-TESTE/ PÓS-TESTE (Com adição da pergunta final) .....	137

## 1. INTRODUÇÃO

É de conhecimento geral entre todos envolvidos em atividades ligadas à educação científica que o ensino das ciências naturais, em especial da disciplina de física, vem enfrentando grandes dificuldades no que se refere à qualidade e a maneira como os conceitos físicos são transmitidos aos alunos.

A prática pedagógica amplamente utilizada pelos professores são aulas expositivas, nas quais se apresentam os assuntos do conteúdo programático por meio de fórmulas, sem motivar e nem vincular o conhecimento físico ao cotidiano dos alunos, resultando numa aprendizagem deficiente que não produz cidadãos críticos, capazes de reconhecer e utilizar conceitos da física no seu dia-a-dia.

Neste sentido, uma prática que poderia ser desenvolvida para melhoria do processo de ensino e aprendizagem seria a utilização de experimentos durante as aulas de física.

Seguindo essa linha o presente trabalho se concentra na utilização do experimento batizado de Terrella (miniatura da Terra) para simular simplificada e como a Terra gera seu campo magnético, alicerçada na teoria do geodínamo, pela qual se defende que a Terra possui um dínamo interno gerador de campo magnético.

A proposta é usá-la na forma experimental modelizadora do nosso planeta, como uma alternativa ao ensino de física tradicionalista, buscando auxiliar o professor na ministração das suas aulas de eletromagnetismo, e o consequente aprendizado significativo por parte dos alunos, proporcionando-lhes um ensino mais conectado com o mundo vivencial.

A pesquisa também propicia um passeio pela história da eletricidade e do magnetismo que tiveram seus inícios registrados na Grécia antiga com Tales de Mileto, e culminaram em enormes avanços para humanidade.

Veremos como o médico da rainha Elizabeth I no ano de 1600 provou que a Terra possuía propriedades magnéticas, e como um experimento, conhecido como experimento de Oersted realizado em 1820 uniu duas ciências (eletricidade e magnetismo), ajudando a criar a atual teoria do eletromagnetismo, cujo desenvolvimento resultou em várias aplicações tecnológicas, como os motores elétricos.

A história do desenvolvimento da teoria eletromagnética, construída por vários físicos de renome como Ampère e Faraday, nos revela seu forte caráter experimental.

Na busca por atividades pedagógicas que auxiliem no ensino de física, através da experimentação pretende-se contribuir para diminuição de uma enorme dificuldade apresentada no ensino do eletromagnetismo que é a abstração dos seus conceitos.

Através do primeiro modelo do nosso produto educacional é possível ver de forma simples e direta, o alinhamento de bússolas por ação do campo magnético de um ímã, ressaltando através de um segundo modelo mais sofisticado do nosso planeta (uma versão do experimento de Oersted), que o campo magnético terrestre é produzido por correntes elétricas no seu núcleo externo fluido, como preconiza a teoria do geodínamo.

A fundamentação teórica foi dividida em duas partes, a primeira trata dos conceitos físicos relevantes para o entendimento da teoria do geodínamo, ressaltando-se que esta teoria ainda não está consolidada, é um campo aberto a estudos.

Embora tratarmos de vários fenômenos eletromagnéticos que compõe a estrutura atual da teoria do dínamo terrestre, nosso produto educacional se baseia na construção de um modelo simplificado de geodínamo, apoiado no fato de que correntes elétricas circulando em bobinas condutoras geram campo magnético.

A segunda parte se fundamenta na Teoria da Aprendizagem Significativa de Ausubel (TAS), cuja ideia fundamental é que os conhecimentos prévios já existentes

na estrutura cognitiva do discente facilitam a aprendizagem, pois estas servem de base para a assimilação de novos conhecimentos.

Seguindo a proposta da TAS, usamos os organizadores prévios que são materiais introdutórios (vídeos, textos, cartazes, maquetes, etc.) apresentados aos alunos antes da matéria de ensino, em um nível de generalidade e inclusividade maior do que o conteúdo em si, atuando como ponte entre aquilo que o aluno sabe e aquilo que se deseja que ele aprenda (AZEVEDO, 2010).

Ainda no intuito de potencializar o uso da Terrella como instrumento de aprendizagem significativa junto aos estudantes foi utilizada a abordagem CTS (Ciência Tecnologia e Sociedade), esta atua na aproximação entre o conteúdo a ser estudado e a realidade vivencial do aluno.

O campo magnético terrestre é de vital importância para sobrevivência humana nos protegendo da radiação solar, sem ele satélites falhariam e os sistemas de telecomunicações seriam seriamente afetados, gerando caos social.

A nosso ver a abordagem CTS se constitui uma ferramenta valiosa para aplicação do produto educacional junto aos estudantes.

Sendo assim, a dissertação estabelece o seguinte problema de pesquisa: A Terrella pode contribuir para o ensino significativo do eletromagnetismo?

O objetivo geral é analisar se o modelo simplificado de geodínamo pode contribuir para o ensino significativo do conceito basilar do eletromagnetismo, o campo magnético e sua relação com a corrente elétrica.

Para tanto, como efeito de contextualização, no segundo capítulo faremos um apanhado histórico, mostrando em seguida à teoria física que serve de aporte conceitual para o modelo de geodínamo terrestre (A teoria ainda não foi concluída dada sua complexidade que envolve outras áreas como hidrodinâmica e termodinâmica, sendo estudada pela magnetofluidodinâmica).

No terceiro capítulo será destacada a teoria de aprendizagem significativa (ressaltando seu caráter construtivista) aplicada ao contexto da experimentação no eletromagnetismo.

No quarto capítulo serão apresentados os dois experimentos que constituem nosso produto educacional e a metodologia usada em sua aplicação.

O capítulo cinco trata da análise da utilização dos mesmos como objeto de aprendizagem significativa junto aos alunos, no capítulo seis apresentamos as considerações finais a respeito desta pesquisa. Finalizamos a dissertação com as referências e os apêndices.

Para analisarmos os impactos produzidos pela utilização do produto educacional Terrella, foi realizada uma intervenção pedagógica em duas turmas diferentes, a primeira com os alunos da turma do 3º ano do ensino médio integrado em informática do IFPE Campus Garanhuns-PE e a segunda com alunos do Curso de Extensão de Astronomia, uma parceria UFRPE/UFPE organizado pelo professor Antonio Carlos da Silva Miranda (meu orientador), esta turma é bastante diversificada sendo formada por alunos de ensino médio e profissionais de diversas áreas.

Assim pretendemos verificar a contribuição do experimento para aprendizagem significativa do conceito de campo magnético e sua relação com a corrente elétrica.

## 2. ELETROMAGNETISMO E A TEORIA DO GEODÍNAMO

### 2.1. Contexto histórico

O objetivo deste capítulo é mostrar através do desenvolvimento histórico, como o caráter empírico teve papel crucial na ciência do eletromagnetismo, destacando o trabalho de físicos brilhantes, tais como o inglês Michael Faraday. A história do eletromagnetismo nos indica como Faraday entrou para história como um dos maiores experimentalistas de todos os tempos.

O experimento histórico de Oersted foi o elemento unificador das duas ciências eletricidade e magnetismo, sendo o marco inicial da ciência do eletromagnetismo (GUIMARÃES, 2011).

Segundo Griffiths:

No início, eletricidade e magnetismo eram assuntos totalmente separados. A primeira lidava com bastões de vidro e pelo de animais, baterias, correntes, e relâmpagos; o outro lidava com barras magnéticas, limalha de ferro, agulhas de bússola e o polo norte. Mas em 1820, Oersted um farmacêutico e professor de física dinamarquês, percebeu que uma corrente elétrica podia afetar a agulha de uma bússola. Pouco tempo depois, Ampère corretamente postulou que todos os fenômenos magnéticos são decorrentes do movimento de cargas elétricas. Quando Maxwell e Lorentz deram os toques finais à teoria, eletricidade e magnetismo já estavam indissolavelmente entrelaçados (GRIFFITHS, 2011, p.9).

O fenômeno da geração de campo magnético pela corrente elétrica é a questão física central do nosso trabalho, pois constitui a base da teoria do geodínamo, fenômeno este reproduzido através do produto educacional Terrella.

### 2.1.1 Descobrimos a eletricidade

A eletricidade é sem dúvida uma das maiores descobertas científicas efetuadas pelo homem, nossa vida está inteiramente vinculada a ela. Seu estudo teve início na Grécia antiga quando o filósofo e matemático Tales de Mileto (634 a.C. a 548 a.C.) percebeu que ao atritar um pedaço de âmbar (tipo de resina vegetal) em pele de cordeiro ele passava a atrair pedaços de palha, atualmente dizemos que o âmbar ficou carregado eletricamente, ou seja, ele manifestou a propriedade de carga elétrica.

Carga elétrica é uma propriedade intrínseca das partículas fundamentais de que é feita a matéria, em outras palavras, é uma propriedade associada à própria existência das partículas. Nesse sentido a carga elétrica é a célula do estudo da eletricidade. (HALLIDAY; RESNICK, 2013, p.1).

Na busca de se conhecer melhor essa propriedade física, no séc. IV A.C, dois filósofos, Leucipo e Demócrito, observando o comportamento da matéria de poder ser dividida postularam que se dividissem sucessivamente uma porção de matéria, chegariam numa porção mínima que não poderia ser mais dividida e a chamaram de átomo, que significa indivisível.

Hoje sabemos que essa ideia estava errada, pois existe um mundo subatômico repleto de partículas, sendo as mais conhecidas os prótons, elétrons e os nêutrons.

William Gilbert, médico da rainha Elizabeth I e cientista inglês, percebeu a existência de muitos materiais que apresentavam a mesma propriedade do âmbar quando atritados, Gilbert os batizou de elektron de onde surge o termo eletricidade, já que em grego âmbar significa elektron. Ele publicou seus estudos na sua famosa obra o livro De Magnete.

Em termos práticos o primeiro tipo de eletricidade descoberto foi a estática, em 1663 o cientista alemão Otto Von Guericke construiu um gerador eletrostático, seu gerador era uma máquina de fricção usava um globo de enxofre que ao ser

girado e atritado com as mãos gerava eletricidade estática. Este foi um passo importante, pois a partir daí a eletricidade saiu do campo da observação para o da experimentação.

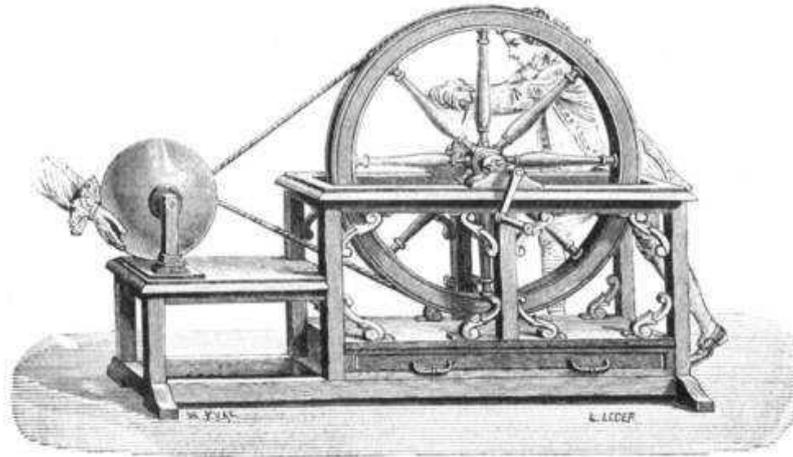


Figura 1: Gerador Eletrostático desenvolvido por Von Guericke

Fonte: [coe.ufrj.br](http://coe.ufrj.br)<sup>1</sup>

Em 1729 Stephen Gray, físico e astrônomo amador, tentando transferir carga elétrica de um bastão de vidro para uma esfera de marfim faz a primeira distinção entre condutores e isolantes.

O químico francês Charles Du fay em 1733 observou que dois bastões de vidro após serem atritados por seda se repeliam, em quanto a barra e a seda se atraíam após o atrito, chegando a conclusão que existem dois tipos de eletricidade, uma associada ao vidro “vítrea” e a outra ligada a seda a eletricidade “resinosa”.

Assim no século XVIII experimentos com eletricidade eram mais comuns, os geradores de eletricidade estática eram atrações populares em palestras de ciências feitas em público, a figura abaixo mostra uma demonstração pública realizada por Stephen Gray usando um menino de rua suspenso por cordas isolantes, enquanto segurava uma haste de vidro carregada, o corpo do garoto eletrizado atraía pedaços

---

<sup>1</sup> Disponível em: <http://www.coe.ufrj.br/~acmq/pellat59.jpg>. Acesso: 03.mar.2019

de papel, além de divertidas as experiências de Gray mostravam a condutividade, a capacidade que a eletricidade tinha de se transferir de um material para outro.

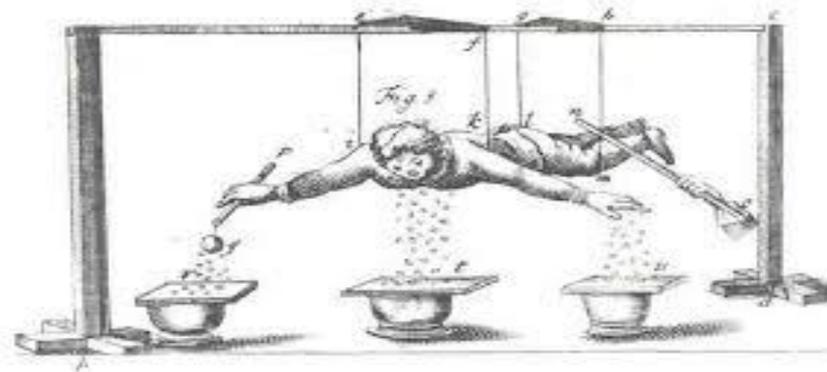


Figura 2: Demonstração pública da eletricidade estática em 1729

Fonte: if.ufrgs.br<sup>2</sup>

No ano de 1744 duas pessoas o Holandês Pieter van Musschenbroek (1692-1760), professor da Universidade de Leyden, e o clérigo alemão Ewald Georg Von Kleist (1700-1748) construíram independentemente uma garrafa que armazenava cargas elétricas estáticas. A garrafa de Leyden é o primeiro capacitor que se tem conhecimento.

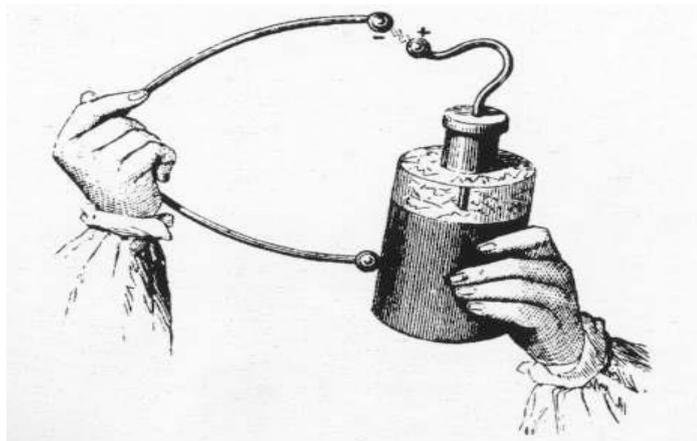


Figura 3: Garrafa de Leyden

Fonte: br.geocities.com/saladefisica<sup>3</sup>

<sup>2</sup> Disponível em: [http://www.if.ufrgs.br/fis/EMVirtual/crono/img/dufay\\_exp.gif](http://www.if.ufrgs.br/fis/EMVirtual/crono/img/dufay_exp.gif). Acesso:03.março.2019

Um dos cientistas mais famosos no estudo da eletricidade foi o americano Benjamim Franklin (1706-1790) além de cientista foi diplomata, jornalista, editor, filantropo, ajudou a esboçar a declaração de independência americana, e ainda foi o primeiro a demonstrar a natureza elétrica dos raios em 1752. Por todos os seus trabalhos Franklin alcançou grande prestígio no meio científico.



Figura 4: Benjamin Franklin<sup>4</sup>

Fonte: britannica.com

Conta-se que no dia 15 de Junho de 1752 acompanhado do seu filho durante uma tempestade, resolveu testar suas ideias a respeito da eletricidade atmosférica (alguns cientistas duvidam que este evento realmente ocorreu dada a sua natureza perigosa).

Ligou uma vara de metal a uma pipa amarrando uma chave na outra ponta do fio perto de uma garrafa de Leyden. Ele sugeriu que a eletricidade era uma espécie de fluido, considerando a nuvem carregada positivamente este fluido elétrico escorria através do fio até chegar à garrafa que se carregava positivamente, já a nuvem por ter cedido este fluido ficaria com carga negativa. Os artefatos usados culminaram na construção do para-raios (OILOSI, 2010).

---

<sup>3</sup> Disponível em: <http://www.geocities.ws/saladefisica5/leituras/leyden.html>. Acesso: 02.março.2019

<sup>4</sup> Disponível em: <https://cdn.britannica.com/72/110272-004-CA998101.jpg>. Acesso: 04.março.2019



**Figura 5:** Benjamin Franklin entre Pipas e trovões

Fonte: Blog Isabella's Voice<sup>5</sup>

A eletricidade agora solidificada como ciência era cada vez mais estudada pelos pesquisadores que tentavam responder a pergunta qual será a real natureza da eletricidade? Neste quesito se destacou o filósofo natural Joseph Priestley (1733-1804), que também era teólogo, clérigo e político britânico. Priestley se notabilizou por ter descoberto o oxigênio e por seus estudos nas relações entre as substâncias químicas e a eletricidade conforme disserta Oliosi (2010).

Joseph defendia ideia de Du fay que a eletricidade era composta de dois tipos de matérias uma positiva e outra negativa, a matéria elétrica assim denominada era constituída por dois fluidos que sofriam atração ou repulsão dependendo da interação entre elas, esta teoria se diferenciava da ideia de Benjamin Franklin que afirmava que a eletricidade era formada por um único fluido que poderia se mover de um corpo para outro.

---

<sup>5</sup> Disponível em:

[https://2.bp.blogspot.com/JFhWhR7PLDc/Vhn1ieahOI/AAAAAAAAAKzY/HC4rdvNFrTsl2sTNkfj99rZzh37w\\_YUiQC\\_LcB/s1600/benjamin-franklin-kite-experiment-bernard-hoffman-large.jpg](https://2.bp.blogspot.com/JFhWhR7PLDc/Vhn1ieahOI/AAAAAAAAAKzY/HC4rdvNFrTsl2sTNkfj99rZzh37w_YUiQC_LcB/s1600/benjamin-franklin-kite-experiment-bernard-hoffman-large.jpg). Acesso: 03.março.2019

Joseph Priestley e Benjamin Franklin trocaram cartas científicas ao longo da vida, compartilhando uma grande admiração entre eles.

Priestley também era um grande experimentalista, foi o primeiro a propor que a força elétrica seguia a lei do quadrado inverso da distância semelhante a lei da gravitação universal de Newton, no entanto a lei geral foi enunciada pelo físico francês Charles Augustin de Coulomb pouco tempo depois em 1783, demonstrada através da balança de torção.

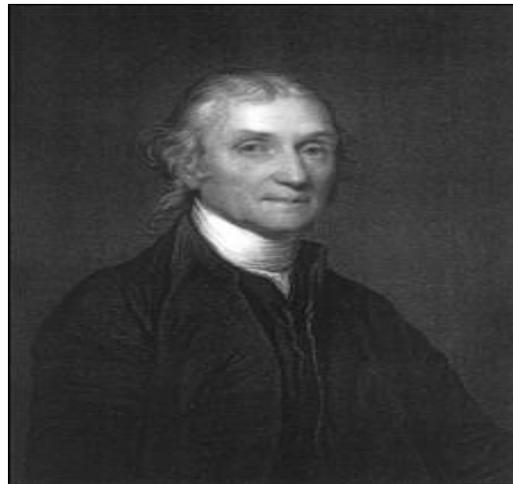


Figura 6: Joseph Priestley<sup>6</sup>

Fonte: en.wikiquote.org

As obras de Joseph Priestley influenciaram a Michael Faraday e James Clerk Maxwell em seus estudos sobre o eletromagnetismo. Seus textos tornaram-se o padrão histórico sobre a eletricidade por mais de um século, outros cientistas famosos tais como Alessandro Volta seguiram esses textos.

J. Priestley que também era um excelente educador devotado à divulgação científica, escreveu uma versão popular de sua obra História da Eletricidade, buscando disseminar sua teoria da eletricidade para o público geral, cujo título foi: Uma Introdução Familiar ao Estudo de Eletricidade publicada em 1768.

---

<sup>6</sup> Disponível em: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d5/Priestley.jpg/220px-Priestley.jpg>. Acesso: 02.março.2019

A figura abaixo mostra a aparelhagem usada por Priestley para estudar a condutividade dos corpos, conhecido como aparelho de fricção que continha o eletrômetro de Mr. Lane equipamento utilizado para medir a intensidade da eletricidade.

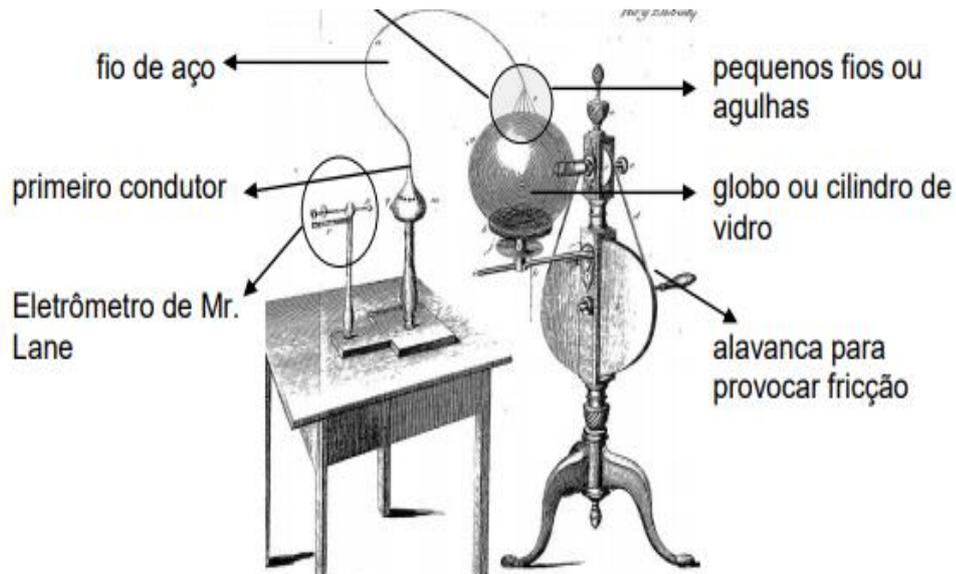


Figura 7: Um dos experimentos utilizados por Joseph Priestley, por meio dele ele categorizava os materiais em condutores e não condutores<sup>7</sup>.

Fonte: Oliosí (2010)

Com o desenvolvimento da eletricidade a todo vapor no fim do séc. XVIII ocorre a descoberta da bioeletricidade em 1791 pelo físico e médico italiano, Luigi Galvani, enquanto dissecava rãs.

Alessandro volta físico italiano, em 1800 constrói a primeira bateria elétrica, elemento que gera energia elétrica. Estudando os resultados obtidos por Luigi Galvani, concluiu que uma corrente elétrica surgia quando dois metais diferentes estavam separados por um meio condutor, como as pernas da rã numa solução salina. O músculo da rã funcionava como um condutor e detector biológico da corrente elétrica.

<sup>7</sup> Disponível em:

<https://sapientia.pucsp.br/bitstream/handle/13459/1/Elisa%20Cristina%20Oliosí.pdf>. Acesso: 03.março.2019

Todos os cientistas citados acima prepararam o terreno para o desenvolvimento da eletricidade de forma autônoma, quando em 1820 foi realizado o histórico experimento de Oersted.

### **2.1.2. Esperando nos bastidores: O magnetismo**

Os primeiros registros conhecidos dos fenômenos magnéticos foram observados na Grécia antiga. Semelhante ao início do estudo da eletricidade, Tales de Mileto no séc. VI A.C, observou a capacidade de algumas pedrinhas, de se atraírem umas às outras e também ao ferro, ele afirmava que tais pedras possuíam alma de acordo com Guimarães (2011).

Essas pedras receberam o nome de magnetita (mineral composto por óxido de ferro), pois segundo o filósofo e poeta Lucrécio do séc. I AC, no poema *De Rerum Natura*, o nome teria ligação com uma província no norte da Grécia chamada de Magnésia.

No ano de 1260, Petrus Peregrinus um pesquisador francês, percebeu que as extremidades de um ímã possuem um poder maior de atrair pedaços de ferro: são os polos magnéticos. Ele também observou que esses polos não podiam ser separados (HART-DAVIS et al., 2016).

A primeira aplicação prática do magnetismo foi encontrada pelos adivinhadores chineses do séc. I d.C., a bússola primitiva com ponteiros de chumbo. Sabemos que seu ponteiro se alinha pela interação do campo magnético da Terra (CMT) e sua agulha imantada, fazendo que a mesma aponte para o polo norte geográfico terrestre.

A bússola foi um instrumento bastante útil nas grandes navegações dos séculos XVI e XVII, no entanto naquela época ninguém sabia os segredos por trás do seu funcionamento, alguns diziam que seu ponteiro era atraído pela estrela do norte, outros, afirmavam que era atraído pelas montanhas magnéticas do Ártico conforme Hart-davis et al. (2016).

O funcionamento da bússola sempre despertou curiosidade sobre como algo invisível é capaz de mover sua agulha, Albert Einstein apud Baeyer relata:

Experimentei uma maravilha desse tipo quando criança, aos quatro ou cinco anos, quando meu pai me mostrou uma bússola. O fato de a agulha se portar de maneira tão determinada não condizia absolutamente com a natureza dos acontecimentos alojados no meu subconsciente mundo das ideias (onde as ações estavam relacionadas ao “toque”). Ainda me lembro - ou pelo menos acho que lembro - que essa experiência me causou uma marcante e duradoura impressão. Deve haver algo de profundamente oculto por trás disso tudo. (BAEYER, 2004, p.98).

O desenvolvimento do magnetismo como ciência foi mais lento que o da eletricidade. É atribuída a Willian Gilbert (1544-1603) a fundação da ciência do magnetismo conforme argumenta Guimarães (2011).

Após estudar medicina em Cambridge, Gilbert estabeleceu-se em Londres, por volta de 1570 sendo contemporâneo de Kepler e Galileu fazendo parte da revolução científica do séc. XVI.

O seu livro “De Magnete”, *Magneticisque Corporibus, et de Magno Magnete Tellure* (Sobre os ímãs, os corpos magnéticos e o grande ímã terrestre), foi escrito em latim e dividido em seis partes, através dele expôs uma nova filosofia natural, no que diz respeito as intepretações a cerca da matéria elétrica e magnética cumprindo um papel marcante nas origens da ciência moderna.

O livro se constitui um verdadeiro tratado sobre o magnetismo, com um objetivo máximo: ele esperava inaugurar uma nova cosmologia, na qual o magnetismo teria papel central. Suas ideias influenciaram Johannes Kepler, ele escreve:

Se acredito em alguma coisa, escreveu, depois que o leitor tiver lido o meu livro ficará convencido de que coloquei um telhado celeste sobre a filosofia de Gilbert, o qual construiu o alicerce terrestre.(GUIMARÃES,2011,PAG.87)

É interessante citar o contexto histórico do *De Magnete*, quase 10 anos antes da publicação do livro a marinha inglesa havia derrotado a armada espanhola, essa batalha foi decidida pelo uso dos canhões de ferro, cuja técnica metalúrgica era dominada pela Inglaterra. Os temas mineração, metalurgia e navegação ocupam boa parte do livro.

De maneira geral os estudiosos do Séc. XVI envolvidos pelo renascentismo buscavam novas formas de estudar a natureza, entre outras coisas começaram a valorizar as artes mecânicas, as invenções, a obra dos artesãos.

Este fato demonstra a diferença entre os métodos utilizados pelos pensadores da Grécia antiga como Aristóteles e William Gilbert que era um filósofo antiaristotélico e experimentador que desenvolveu seu modelo da Terra (Terrella) o esculpindo a partir da magnetita.

Não se sabe direito a origem do interesse de Gilbert pelo magnetismo e pela experimentação, mas estudiosos defendem que este foi despertado pelos trabalhos dos artesãos metalurgistas, ou dos navegadores e construtores de experimentos.

Conta-se uma história curiosa que ele supostamente teria descido a uma mina para verificar se os polos de um pedaço de magnetita seriam de fato direcionados pelo magnetismo terrestre (MAGALHÃES, 2007). A história da ciência confirma o lado investigativo de William.

Segundo Hart-Davis et al:

O avanço de Gilbert não veio de um lampejo de inspiração, mas de 17 anos de experimentos meticulosos. Ele aprendeu tudo o que pode dos capitães de navios e fabricantes de bússolas, depois usou um pedaço de magnetita e fez um globo modelo da Terra, a chamada Terrella e, com ela, testou ponteiros de bússolas. Os ponteiros se deslocaram de um lado a outro da Terrella assim como as bússolas dos navios faziam, levando o cientista a concluir que o planeta inteiro é um ímã e tem uma essência de ferro. O livro causou tanta sensação que Johannes Kepler e Galileu, foram inspirados por sua sugestão de que a Terra não é fixada em esferas celestes rotativas, ideia defendida pelo modelo geocêntrico, mas feita para girar por uma força invisível do seu próprio magnetismo. (HART-DAVIS et al., 2016, p. 44)

Na apresentação de suas ideias confrontava as superstições que envolvia os fenômenos magnéticos em sua época. Ele enfrentou ideias como navios construídos

com pinos de madeira, em vez de pregos, para bloquear a atração magnética das montanhas do norte; o poder de destruição do magnetismo pelo contato com o alho; o uso de ímãs para indicar esposas infiéis e a construção de motoperpétuos usando ímãs (GUIMARÃES, 2000).

Gilbert também constatou experimentalmente as propriedades dos ímãs que conhecemos atualmente. Ainda discutiu longamente em seu livro a propriedade magnética mais importante da bússola, sua tendência ao alinhamento da direção norte-sul.

Uma pequena barra de ferro essa alma de bússola dos marinheiros, este maravilhoso diretor nas viagens marítimas, por assim dizer, esse dedo de Deus, aponta o caminho e tornou conhecido todo círculo da Terra, inexplorado por tão longas eras. (GUIMARÃES, 2011, p. 83)

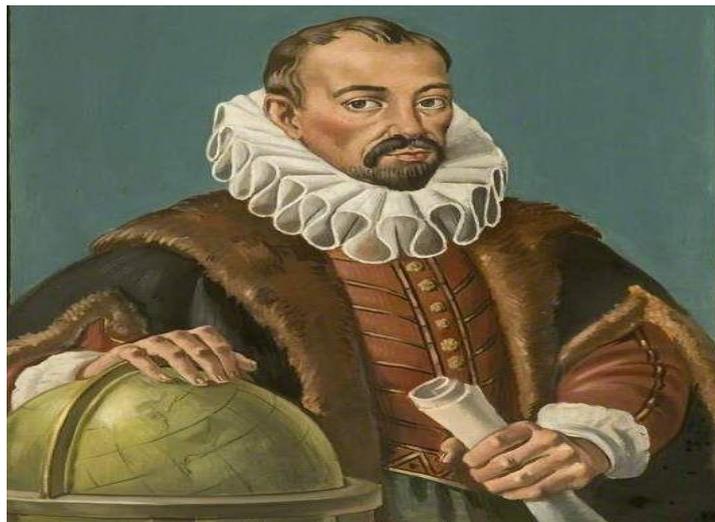


Figura 8: Willian Gilbert e a Terrella<sup>8</sup>

Fonte: Portal Mini-ielts

---

<sup>8</sup> Disponível em: < <http://mini-ielts.com/1027/reading/william-gilbert-and-magnetism>>. Acesso: 05 de Junho de 2018.



Figura 9: Capa do livro De Magnete de Willian Gilbert<sup>9</sup>

Fonte: Portal Canov

Sobre o desvio da bússola da verdadeira direção norte-sul da Terra, mostrou através da Terrella que a agulha tende a ficar paralela a superfície da Terra no equador magnético e perpendicular a superfície nos polos.



Figura 10: Terrella de Gilbert<sup>10</sup>

Fonte: Portal Earlytech

<sup>9</sup>Disponível em: < [http://canov.jergym.cz/objevite/objev4/gil\\_soubory/gilbert\\_book1.jpg](http://canov.jergym.cz/objevite/objev4/gil_soubory/gilbert_book1.jpg)>. Acesso: 05 de Junho de 2018

<sup>10</sup> Disponível em: <https://www.earlytech.com/earlytech/item?id=271>. Acesso: 06 de Junho de 2018

Segundo ele a Terrella lançaria seus poderes em um orbe de virtude, termo este associado a nossa ideia de campo magnético atual.

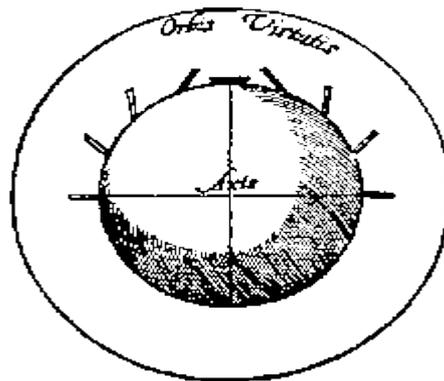


Figura 11: A Terra e seu campo magnético<sup>11</sup>

Fonte: Portal Geocites

Analisando os impactos da Terrella no meio científico, esta foi apreciada por Galileu Galilei e Johannes Kepler, eles acreditavam que o movimento da Terra se dava pela força do seu próprio magnetismo.

O Pensador William Whewell (1794-1796) afirmou que as ideias de Gilbert sobre o magnetismo a partir da Terrella continham todos os fatos importantes do magnetismo em sua totalidade.

Sir Kenelm Digby (1603-1665) diplomata e filósofo natural ficou encantando com a construção da Terrella, segundo ele o modelo tornava o globo terrestre em algo capaz de ser manipulado, já que havia encontrado as propriedades da Terra naquela pequena esfera magnetizada, a qual seria utilizada em vários outros experimentos segundo Magalhães (2007).

Porém sua ideia também encontrou críticos como Francis Bacon que comparava sua Terrella ao ouro dos alquimistas, segundo ele um único objeto não poderia explicar o comportamento de algo tão grande como a Terra.

<sup>11</sup> Disponível em: < <http://www.geocities.ws/saladefisica9/biografias/guilbert50.gif> > Acesso: 05 de Junho de 2018

Athanasius Kircher (1602-1680) famoso em sua época por causa de sua versatilidade em várias áreas do conhecimento em sua obra *Magnes sive de arte magnética*, também critica as ideias de Gilbert, afirmando que se a Terra fosse um grande imã a atração magnética seria tão forte que os homens não poderiam usar ferramentas de ferro, ele classificou a opinião de Gilbert como “absurda, indigna et intolerabilis” conforme Guimarães(2011) .

A Terrella estabeleceu a Terra como único objeto astronômico magnetizado conhecido por mais de 300 anos.

Após a obra basilar do magnetismo o *De magnete*, os conhecimentos sobre este tema avançou pouco, já o desenvolvimento da eletricidade continuou, até o experimento unificador em 1820 por Oersted.

### **2.1.3 O Nascimento do eletromagnetismo e o conceito de campo como transmissor de força**

Antes do trabalho de Gilbert já havia relatos sobre o elo entre a eletricidade e magnetismo, No *De magnete* o cientista notadamente fez uma separação entre estas duas ciências.

Dois fatos documentados antes do século XIX relatam a ligação entre as ciências citadas acima. Um deles foi o efeito da queda de um raio sobre um navio na latitude das bermudas relatado em 1676, o raio danificou o mastro dianteiro e a bússola começou a apontar na direção oposta, o capitão da embarcação relatou o incidente “A bússola ficou com o norte e sul trocados” conforme Guimarães (2011).

Outro relato informa que alguns talheres em 1731 na cidade de Wakefield, na Inglaterra em 1731 ficaram magnetizados quando atingidos por um raio e passaram a atrair pregos, levantou-se na época a hipótese que ao se resfriarem eles guardaram o magnetismo da Terra.

Coube a Hans Christian Oersted (1777-1851) o experimento que unificou as ciências da eletricidade e do magnetismo, dando origem a uma das ciências mais fecundas no campo das invenções e desenvolvimento científico de todos os tempos.

Oersted era farmacêutico por formação e tinha grande interesse por filosofia seguindo as ideias de Kant. Segundo uma carta escrita por um de seus colaboradores Christopher Hansteen (1784-1873), Oersted tinha descoberto a conexão por acidente, mas esta versão é contestada atualmente, com base em registros históricos que atestam que ele já vinha estudando há anos a relação entre eletricidade magnetismo de acordo com Guimarães (2011).

Ele não teve êxito antes por que dispôs a bússola perpendicularmente ao fio, quando colocou a agulha paralela ao condutor produziu a deflexão na agulha magnética da bússola.

A história mais conhecida conta que palestrando na universidade de Copenhague, Hans Oersted queria mostrar aos alunos como a corrente elétrica de uma pilha voltaica, poderia aquecer um fio.

Notou então que um ponteiro de bússola próximo ao fio se movia toda vez que a corrente era ligada, concluiu então que o fio percorrido pela corrente adquiria propriedades magnéticas, uma espécie de ímã elétrico.

Esse experimento foi um marco para física, pois até então o magnetismo aparecia expressamente em materiais como a magnetita. Porém ninguém sabia explicar este evento, e logo muitos físicos europeus se lançaram a estudar o acontecido, entre eles o francês André Marie Ampère. Segundo Martins apud Pietrocola et al. :

Seu trabalho é geralmente descrito como uma descoberta casual algum outro que tivesse a sorte de colocar primeiro uma bússola perto de um condutor teria ganhado a fama de descobridor do eletromagnetismo; os aspectos quantitativos do fenômeno não foram desenvolvidos por Oersted, e sim por Ampère, Biot, Savart e outros. A análise cuidadosa desse episódio mostra, no entanto ser necessário muito mais do que sorte para a

descoberta do eletromagnetismo. (MARTINS apud PIETROCOLA et al., 2011, p.172).



Figura 12: Hans Christian Oersted<sup>12</sup>

Fonte: Portal Slideshare

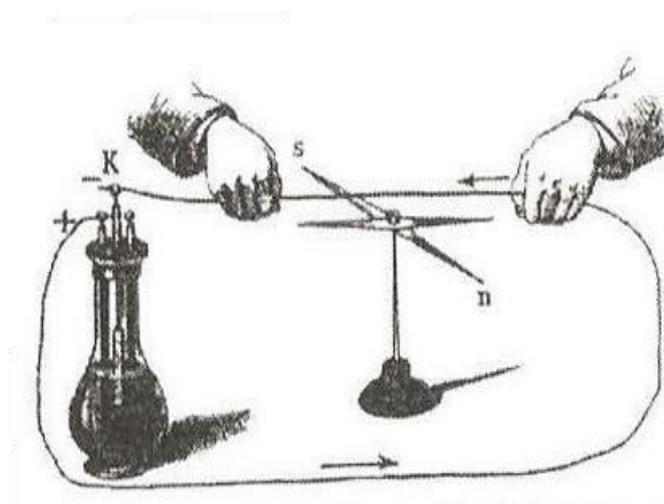


Figura 13: Experimento de Oersted<sup>13</sup>

Fonte: Portal Amazonaws

<sup>12</sup> Disponível em :<<https://image.slidesharecdn.com/hanschristianoersted-1777-1851-130120133527phpapp01/95/hans-christian-oersted-17771851-1-638.jpg?cb=1360235921>>. Acesso: 20 de Janeiro de 2018

<sup>13</sup> Disponível em: <<http://s3.amazonaws.com/magoo/ABAAABIfgAD-2.jpg>>. Acesso: 06 de Junho de 2018



Figura 14: André Marie Ampère<sup>14</sup>

Fonte: Portal Biography

Ampère se destacou por descrever matematicamente a relação entre corrente elétrica e magnetismo. Outros dois físicos Franceses Jean-Baptiste Biot e Félix Savart conseguiram formular uma lei, uma variação matemática da lei de Ampère.



Figura 15: Biot e Savart<sup>15</sup>

Fonte: Mundo educação

Destacaremos a evolução do conceito de campo como um meio de transmissão da força. A primeira noção relevante sobre o campo magnético surgiu com Lucrécio Caro, um poeta romano, que viveu entre 95 e 52 a.C.

Ele considerava que a atração entre o ferro e a magnetita acontecia porque havia um fluxo para fora da magnetita (efluxo) de corpos minúsculos (átomos da

<sup>14</sup> Disponível em:< <https://www.biography.com/people/andr%C3%A9-marie-amp%C3%A8re-37232>>  
Acesso: 04 de Junho de 2018

<sup>15</sup> Disponível em:< <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/enunciando-lei-biotsavart.htm>>  
Acesso: 22 de janeiro de 2018

magnetita) que golpeavam os átomos do ar produzindo vácuo entre a magnetita e o ferro (ROCHA, 2009).

Por sua vez o ferro enviaria também suas minúsculas partículas em direção à magnetita, de forma que todo ferro se lançaria em direção à magnetita aproveitando o vácuo entre ambos. Essa teoria ficou conhecida como teoria do effluvium de Lucrécio segundo Rocha (2009).

Willian Gilbert criticou a teoria de Lucrécio, defendendo a ideia de que a força produzida pela Terrella estendia-se em todas as direções. Segundo ele sempre que o ferro entrava na esfera de influência da magnetita era atraído; quanto mais perto estivesse da magnetita, maior seria a força com que ela o atrai.

Para Gilbert o campo magnético seria uma propriedade física existente numa região do espaço ao redor de um corpo magnetizado, sendo sua intensidade dependente da posição e do tempo.

Pouco tempo antes de Faraday introduzir os conceitos de linhas de campo, os pesquisadores da época haviam criado uma noção clássica de campo que não distinguia campos gravitacionais, elétricos e magnéticos.

Conforme Rocha (2009) a ideia original apregoava que os corpos estariam rodeados por atmosferas (auras) que se estendiam até regiões distantes e que tais atmosferas transmitiriam as forças gravitacionais, elétricas e magnéticas de um corpo para outro.

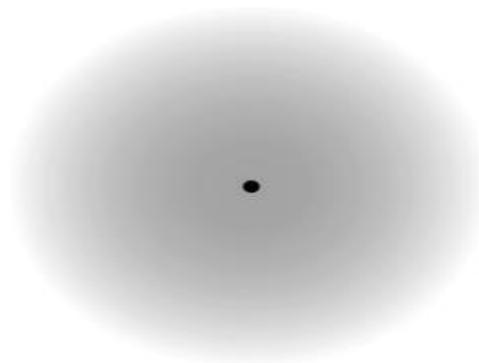


Figura 16: Representação de um campo clássico através de sua aura contínua e homogênea<sup>16</sup>

Fonte: Rocha (2009)

---

<sup>16</sup> Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a13.pdf> > Acesso em: 20 de Maio de 2018

Em 1687, Isaac Newton publica sua obra *Princípios matemáticos de filosofia natural*, na qual ele apresenta sua lei de gravitação universal, por meio dela, Newton explica que os corpos materiais interagem, mas não explica o mecanismo por trás dessa interação.

A lacuna na teoria da gravitação abriu espaço para suposição que a atração entre os corpos se dava por ação a distância, admitindo que um corpo exerce força sobre outro mesmo estando afastado dele, sem a necessidade de um meio para mediar a interação entre eles.

Essas ideias foram base para crença em virtudes atrativas entre os corpos para explicação do fenômeno da gravitação, numa tentativa de explicar tudo por causas ocultas que se estendeu a eletricidade e o magnetismo conforme disserta Rocha (2009).

É nesse cenário de especulações sobre a natureza das interações entre os corpos, aparece em cena o inglês Michael Faraday, físico experimental que não possuía formação universitária, ainda assim deu grande contribuição para o desenvolvimento do eletromagnetismo, não seria exagero dizer que para o estudo desta área existe um eletromagnetismo antes e pós Faraday.

Pietrocola et al. (2011) nos informa que em 1845 foi utilizado o termo campo magnético pela primeira vez nas anotações de Faraday. Suas contribuições para o eletromagnetismo iniciaram em 1821, quando o editor da revista *Annals of Philosophy* lhe pediu que escrevesse sobre as teorias eletromagnéticas, que tinham aparecido no ano anterior, com a experiência Oersted.

Para Faraday a ideia de ação a distância, sem agentes transmissores de força parecia inconcebível, segundo ele o campo era formado por agentes invisíveis que mediavam a interação entre os corpúsculos.

Suas ideias sobre campo magnético e campo elétrico como mediadores de interações magnéticas e elétricas deram outra interpretação a esses agentes invisíveis, cujos efeitos ele tentava demonstrar através de linhas de força, no caso do ímã ele observou o padrão das limalhas de ferro ao redor do mesmo.

Essas linhas mostravam, por exemplo, a direção que uma bússola assumiria quando colocada ao redor de um ímã.

As linhas de força introduzidas por Faraday foram um marco para o entendimento das interações entre corpos, porém sua maior contribuição viria em 1831.

Partindo do conhecimento que a corrente elétrica gerava campo magnético, a grande pergunta que ele tentou responder foi, será que o processo inverso ocorre, ou seja, será que o campo magnético é capaz de gerar corrente elétrica?

Três físicos chegariam à resposta quase ao mesmo tempo: o americano Joseph Henry, o Russo Heinrich Emil Lenz, e o próprio Faraday, esse fenômeno ficou conhecido como indução eletromagnética conforme Pietrocola et al.(2011).

Um elemento importante para compreensão da teoria do Geodínamo é o funcionamento do dínamo, desenvolvido por Faraday para gerar corrente elétrica durável baseado no fenômeno da indução, ele o desenvolveu porque as baterias elétricas da sua época esgotavam-se com rapidez.

O dispositivo permitia que a variação do campo magnético fosse contínua, através do movimento de um ímã em relação a um condutor, gerando corrente contínua. Os dínamos então transformam por meio da indução eletromagnética energia mecânica em energia elétrica.

A lei de Faraday sobre esse fenômeno é uma das leis fundamentais do eletromagnetismo. Segundo Faraday apud Guimarães (2011):

...no entanto, parecia muito extraordinário que, do mesmo modo que todas correntes elétricas eram acompanhadas pela correspondente intensidade de ação magnética, formando um ângulo reto com a corrente, bons condutores de eletricidade, quando colocados dentro do alcance desse efeito, não tivessem qualquer corrente induzida através deles. Essas considerações, com suas consequências, a esperança de obter eletricidade a partir do magnetismo ordinário, me estimularam em várias ocasiões a investigar experimentalmente o efeito indutivo das correntes elétricas. (GUIMARÃES, 2011, p.136-137):

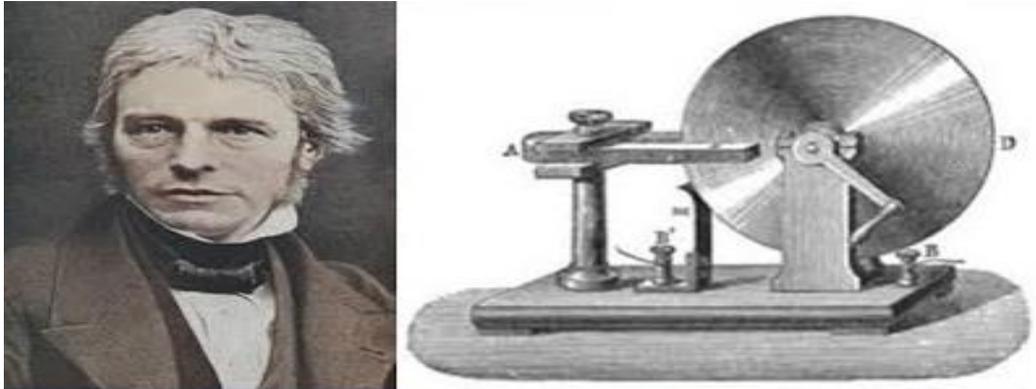


Figura 17: Michael Faraday e seu dínamo<sup>17</sup>

Fonte: Youtube

As noções de campo magnético e elétrico, propostas Faraday, implicavam o fato de não ser a partícula que exerce força, mas sim o campo ao qual ela está submetida. Essas ideias foram estudadas por James Clerk Maxwell que deu uma formulação matemática ao conceito de campo magnético.

Esses agentes invisíveis ao redor de uma carga elétrica estática (campo elétrico), e em movimento (campo magnético) transmissores de forças a distância, ajudou Maxwell a conceber o conceito das ondas eletromagnéticas, assim este pode desvendar a natureza ondulatória da luz. O novo conhecimento causou forte impressão no jovem Albert Einstein, conforme Guimarães (2011):

O tema mais fascinante na época em que eu era estudante era a teoria de Maxwell. O que fazia essa teoria parecer revolucionária era a transição de forças a distância para os campos como variáveis fundamentais. A incorporação da óptica na teoria do eletromagnetismo (...) era como uma revelação. (GUIMARÃES, 2011, p.176)

---

<sup>17</sup> Disponível em:< <https://www.youtube.com/watch?v=8lz1tWGyueM>> Acesso em :01 de Fevereiro de 2018

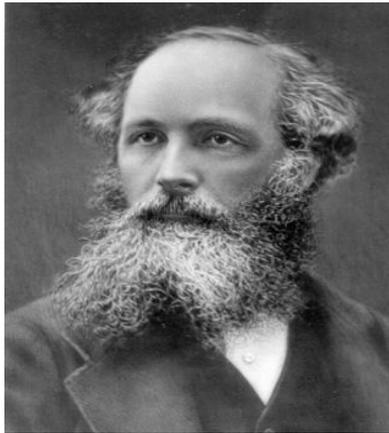


Figura 18: James Clark Maxwell

Fonte: Portal Astronoo<sup>18</sup>

Assim estava formada a teoria eletromagnética, verificamos então a importância do experimento de Oersted para seu desenvolvimento, e como veremos adiante, esta teoria fornece o caminho para o entendimento sobre como a Terra gera seu campo magnético.

## 2.2 As leis do eletromagnetismo

Neste tópico trataremos a formulação das leis do eletromagnetismo, e como a teoria do dínamo terrestre se apoia nelas para sua fundamentação teórica, ressaltando que a teoria do geodínamo, atual é complexa, estando ainda em discussão pelos cientistas, pois envolve uma cadeia de fenômenos físicos que vai além do eletromagnetismo, entrando no campo da Magnetohidrodinâmica (MHD) que surge da união das equações da mecânica dos fluidos com as equações de Maxwell. Destacaremos os conceitos relativos ao eletromagnetismo.

### 2.2.1 A origem microscópica do magnetismo na matéria

A pergunta natural que poderia ser feita a esta altura é a seguinte: o que faz a magnetita ou a agulha da bússola apresentar magnetismo, ou interagir com um campo magnético externo, ou melhor, fazer o ímã e o ferro se atraírem? A resposta nos leva pelos caminhos da mecânica quântica.

---

<sup>18</sup> Disponível em:< <http://www.astronoo.com/images/biographies/james-clerk-maxwell.jpg>> Acesso em: 05 de Março de 2018

Podemos afirmar que o fenômeno ocorre por causa de uma propriedade intrínseca dos elétrons o momento angular intrínseco ( $\vec{S}$ ), conhecido como spin, que significa rodopiar em torno de si mesmo em Inglês, segundo Halliday e Resnick (2013) este termo é incorreto, pois sendo o spin um elemento quântico não encontramos nada na física clássica que o represente.

A teoria quântica aponta que ao spin do elétron possui um momento de dipolo magnético ou simplifadamente momento magnético ( $\vec{\mu}_s$ ), sendo responsável pelo magnetismo em escala subatômica.

Além do seu momento próprio spin, os elétrons apresentam movimento orbital no interior do átomo, que da origem a outra entidade quântica o momento angular orbital ( $\vec{L}$ ), associado a este existe o momento de dipolo magnético orbital ( $\vec{\mu}_l$ ), responsável pelo magnetismo do átomo.

Este modelo clássico está representado na figura 19, onde “I” é a corrente elétrica no sentido convencional, com o elétron orbitando no sentido contrário a mesma.

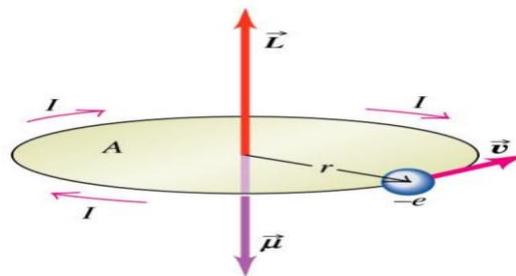


Figura 19: O elétron e seu movimento orbital<sup>19</sup>

Fonte: Rafael (2016)

<sup>19</sup> Disponível em: < [https://wp.ufpel.edu.br/game/files/2016/04/seminario\\_rafael\\_2016\\_1.pdf](https://wp.ufpel.edu.br/game/files/2016/04/seminario_rafael_2016_1.pdf) > Acesso: 08 de fevereiro de 2018

Podemos concluir então que o elétron é um pequeníssimo ímã por conta do seu momento magnético, sendo também o átomo um minúsculo ímã por conta do movimento dos elétrons ao redor do seu núcleo (momento magnético orbital), essa seria a origem do magnetismo na matéria, que se dá pela combinação do spin e do momento angular orbital (TIPLER; MOSCA, 2006, p.240).

O modelo do elétron gerando campo magnético ( $\vec{B}$ ) através do seu spin e seu momento magnético de spin está representado na figura 20.

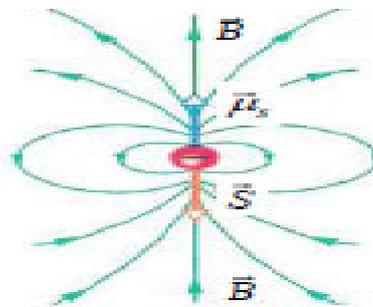


Figura 20: O elétron e seu Spin<sup>20</sup>

Fonte: Portal física vivencial

Uma outra característica do spin ( $\vec{S}$ ) é que ele possui dois números quânticos ( $m_s$ ) associados a componente de  $\vec{S}$  numa certa direção.

Quando medimos a componente do spin paralela ao eixo z, por exemplo,  $m_s = +1/2$  indica que o spin do elétron está para cima, e quando  $m_s = -1/2$  indica que o spin do elétron está para baixo, isso faz os elétrons apresentarem dipolos magnéticos ( polo norte e sul) .

Vale ressaltar que os prótons e os neutrons também possuem spins com seus respectivos momentos magnéticos , mas contribuem pouco para o magnetismo da matéria quando comparado com os elétrons segundo Tipler e Mosca (2006).

<sup>20</sup> Disponível em: <[http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/324SF/08\\_avaliacao\\_01.htm](http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/324SF/08_avaliacao_01.htm)>  
Acesso: Fevereiro de 2018

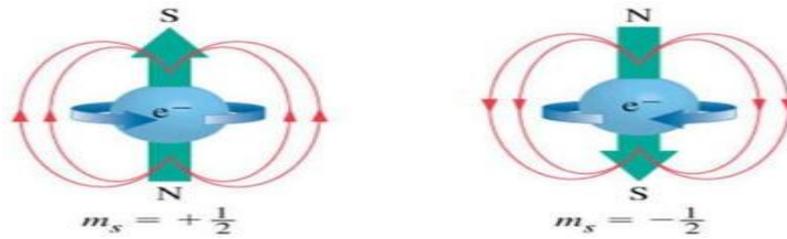


Figura 21: Elétrons como minúsculos ímãs<sup>21</sup>

Fonte: Profpc

A experiência que confirmou a existência do spin do elétron foi realizada pelos físicos Otto Stern e Walther Gerlach, conhecida como a experiência de Stern-Gerlach em 1924, observando através de um aparato experimental, que quando feixe de átomos de prata é lançado dentro de um campo magnético, é desviado em direção aos polos. Esse comportamento foi relacionado ao Spin do elétron, Pietrocola (2011).

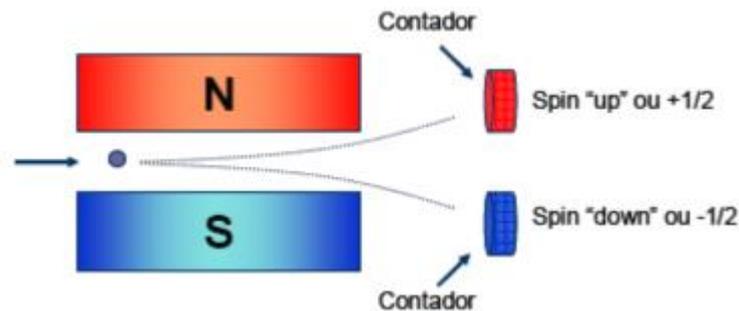


Figura 22: Experiência de Stern-Gerlach<sup>22</sup>

Fonte: Portal do MEC

Surge então outra pergunta, se os átomos são minúsculos ímãs por que nem todos os corpos manifestam magnetismo já que todos são compostos por átomos?

A resposta, segundo Guimarães (2011) é:

<sup>21</sup> Disponível em: <[http://www.profpc.com.br/n%C3%BAmeros\\_qu%C3%A2nticos.htm](http://www.profpc.com.br/n%C3%BAmeros_qu%C3%A2nticos.htm)> Acesso: 20 de Fevereiro de 2018

<sup>22</sup> Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec>> Acesso: 08 de Fevereiro de 2018

Embora os átomos tenham propriedades magnéticas porque contêm elétrons, no interior de cada órbita no átomo os momentos magnéticos dos diferentes elétrons se cancelam uns aos outros quando as camadas ou órbitas estão cheias, isto é, quando contêm o número máximo de elétrons que podem acomodar. Isso não acontece nos átomos dos elementos com camadas incompletas, chamados de elementos de transição (ferro, cobalto, níquel), conseqüentemente, nesse caso existe um momento magnético resultante, e os átomos exibem paramagnetismo (ou seja, serão fracamente atraídos por um ímã). Se os momentos magnéticos dos átomos forem naturalmente alinhados em paralelo, criando uma magnetização espontânea, o material é ferromagnético nome derivado do ferro, ou ferrum, em latim que tem essa propriedade (GUIMARÃES, 2011, p. 215).

Desse modo o magnetismo na matéria é explicado em nível atômico da seguinte maneira (PETRY, 2006):

- Dois elétrons ocupam o mesmo nível energético, sendo os spins desses elétrons opostos;
- Subníveis internos não completos dão origem a um momento magnético não nulo.

Assim percebe-se que o magnetismo dos materiais depende da interação entre seus átomos constituintes, e esta interação determina como os dipolos magnéticos dos átomos estarão alinhados.

Dois dipolos próximos e de igual intensidade anulam seus efeitos se estiverem alinhados antiparalelamente e somam seus efeitos se estiverem alinhados paralelamente.

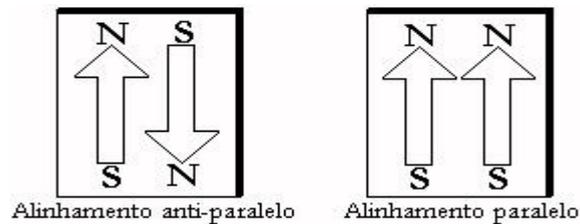


Figura 23: Alinhamento dos dipolos magnéticos<sup>23</sup>

Fonte: Portal da Unesp

Se os dipolos, mesmo sob a ação de um campo externo como o produzido por um ímã, permanecerem desalinhados, apontando em direções aleatórias, há um cancelamento geral dos efeitos dos dipolos e o material não apresentará magnetismo, se a maioria dos dipolos estiverem alinhados, temos um material chamado ferromagnético, como exemplo a magnetita e as agulhas de bússolas que geralmente são de feitas de aço.

A figura 24 mostra a nível subatômico os dipolos contrários se cancelando, e os de mesmo sentido se somando, para gerar um momento magnético resultante para cima.

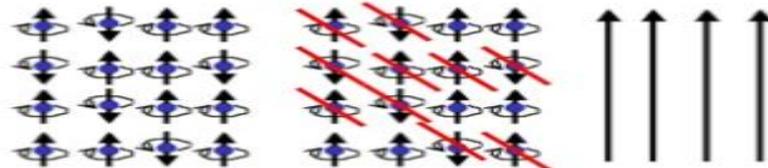


Figura 24: Dipolo magnético resultante<sup>24</sup>

Fonte: Albiero (2016)

De acordo com Faraday as linhas de força mapeiam o sentido deste campo em torno dos objetos, indicando a direção da atração ou repulsão magnética num

<sup>23</sup> Disponível em:< <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele18.htm>> Acesso: 28 de Janeiro de 2018

<sup>24</sup> Disponível em:< <https://www.slideshare.net/DanielAlbiero/energianaagriculturaa2>>Acesso:15 de Fevereiro de 2018

ponto do espaço sob a influência do imã, nele as linhas apontam externamente do polo norte para o polo sul do material ferromagnético constituinte do imã.

As figuras a seguir mostram as linhas de campo magnético observadas por Faraday e utilizadas por ele para representar o campo magnético.

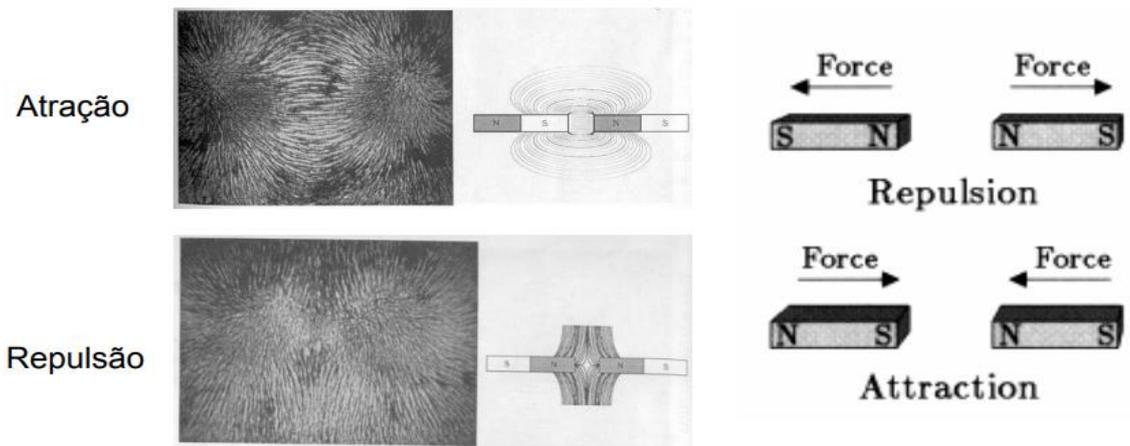


Figura 25: Linhas de campo magnético representando o comportamento do campo na repulsão e atração de imãs<sup>25</sup>.

Fonte: Portal professor Petry

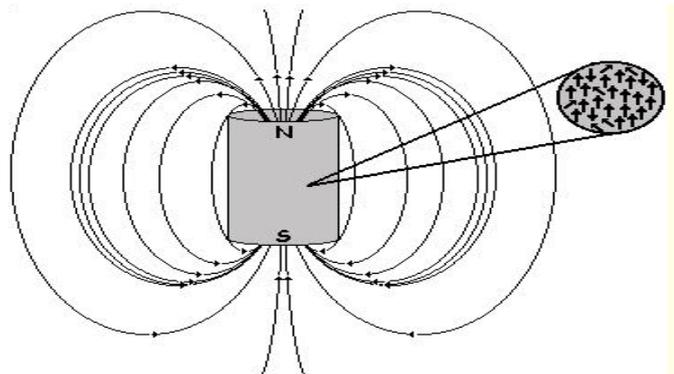


Figura 26: Material ferromagnético alinhamento dos dipolos magnéticos formando polos norte e sul<sup>26</sup>

Fonte: Portal da Unesp

<sup>25</sup>Disponível em: [http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Fundamentos\\_Eletridade/Aula\\_Eletromagnetismo.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Fundamentos_Eletridade/Aula_Eletromagnetismo.pdf) Acesso: 18/06/2018

<sup>26</sup> Disponível em: <http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele18.htm> Acesso: 28 de Janeiro de 2018

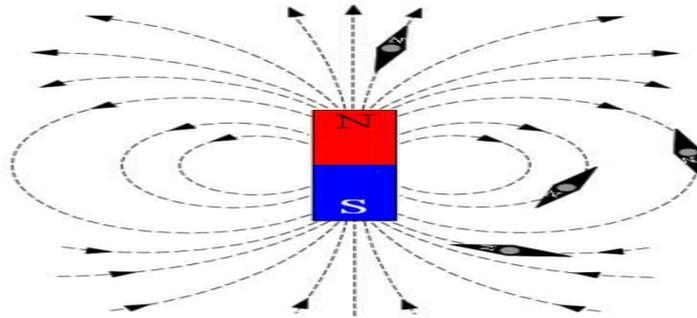


Figura 27: Bússola se alinhando ao redor de um ímã<sup>27</sup>

Fonte: Portal Ceacs

Agora temos condições de apresentar um modelo de ímã no seu nível mais elementar, levando em consideração o momento de dipolo magnético resultante e seu campo magnético  $\vec{B}$ .

Aqui se destaca uma diferença entre a eletricidade e o magnetismo, enquanto a primeira está associada elementarmente a carga elétrica que pode ser isolada, a outra seria representada no seu nível mais básico pelo Spin e a uma natureza dipolar que até agora não se manifestou isolada na natureza (inseparabilidade dos polos) embora a teoria aponte para monopolos magnéticos, nunca forma encontrados na prática.

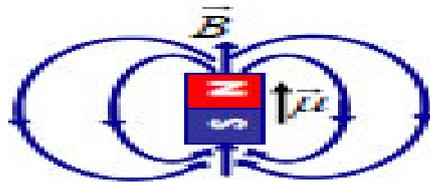


Figura 28: Ímã, seu momento magnético resultante e seu campo magnético<sup>28</sup>.

Portal: Física vivencial

<sup>27</sup> Disponível em: <<https://ceacs.wordpress.com>> Acesso: 10 de Fevereiro de 2018

<sup>28</sup> Disponível em: <[http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/324SF/08\\_avaliacao\\_01.htm](http://www.fisicavivencial.pro.br/sites/default/files/sf/324SF/08_avaliacao_01.htm)> Acesso: 18 de Fevereiro de 2018

De tudo o que foi colocado até aqui, que o magnetismo está intimamente ligado à eletricidade, é o movimento de cargas elétricas (corrente elétrica) que gera o campo magnético como preconizado por Ampère. Segundo Hewitt (2002):

Da mesma forma que uma carga elétrica está rodeada por um campo elétrico, a mesma carga estará rodeada por um campo magnético se estiver em movimento. Esse campo se deve á distorções causadas no campo elétrico pelo movimento, e foi explicado pelo físico Albert Einstein em 1905 na sua teoria da relatividade especial (...) o campo magnético é uma espécie de subproduto relativístico do campo elétrico. As partículas carregadas têm associadas consigo tanto um campo elétrico como um magnético. Um campo magnético é produzido pela movimentação de uma carga elétrica. (HEWITT, 2002, p.410)

Tamanha a profundidade da discussão sobre a origem do campo magnético, nos leva pelos caminhos do mundo atômico e da relatividade, pois se nós pudéssemos viajar juntos de uma carga elétrica, de modo que o movimento relativo fosse inexistente, não mediríamos seu campo magnético, pois sendo o movimento relativo, o campo magnético também o é, ou seja, o magnetismo é relativístico, depende do movimento entre a carga e do seu referencial de acordo com Hewitt (2002).

### **2.2.2 A formulação matemática das leis do eletromagnetismo**

Neste tópico iremos citá-las para fundamentação da teoria do geodínamo atual, a proposta pedagógica em que esta pesquisa se baseia é na relação qualitativa entre corrente elétrica e campo magnético, portanto este capítulo serve para demonstrar como a teoria do geodínamo é completa envolvendo todos os princípios do eletromagnetismo, desde as leis de Ampère, Biot- Savart; Faraday, Lenz e até leis da termodinâmica e hidrodinâmica estas últimas não abordaremos nesta pesquisa.

### 2.2.2.1 A Lei de Ampère

O grande feito de Ampère foi desenvolver a famosa lei circuital (KÍTOR, 2018) Ela pode ser enunciada da seguinte maneira (CALÇADA; SAMPAIO, 1998, p.456-457):

“A circulação do vetor campo magnético (linha fechada) é proporcional à soma algébrica das correntes envolvidas na circulação”.

Em termos matemáticos:

$$C(B) = \mu \sum i \quad (1)$$

Na qual:

$\mu$  (constante de proporção) é a permeabilidade magnética do meio, no vácuo assume o valor:

$$\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ T.m/A}$$

O símbolo  $\sum$  indica soma sobre certo número de objetos.

De forma simplificada consideraremos um percurso plano, fechado envolvendo uma corrente elétrica. Podemos definir a circulação em termos do módulo do campo magnético e módulo do vetor deslocamento, consideremos a figura na qual a curva envolve duas correntes em sentidos opostos:

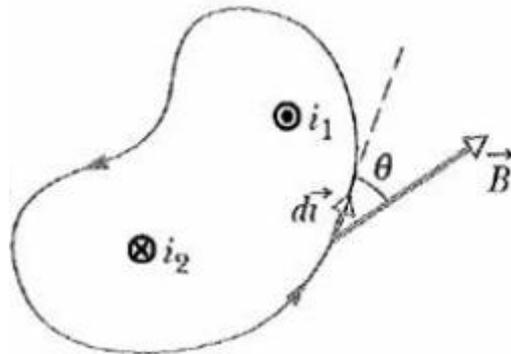


Figura 29: Curva fechada envolvendo correntes elétricas<sup>29</sup>

Fonte: Portal professor Petry

Em cada ponto da curva existirá um vetor campo magnético, para efeito de simplificação dividiremos a curva em pequenos pedaços (elementos), chamando o módulo do elemento do vetor deslocamento  $dl$  e o módulo do elemento do vetor campo magnético  $dB$ , assim teremos a definição da circuitação desses dois vetores que fazem um ângulo  $\theta$  entre si em cada ponto, para o percurso total:

$$C(B) = \sum dB \cdot dl \cdot \cos\theta \quad (2)$$

Assim igualando as equações (1) e (2):

$$\sum dB \cdot dl \cdot \cos\theta = \mu \sum i$$

Essa expressão permite o cálculo do campo magnético a nível de ensino médio sem a necessidade do cálculo diferencial e da integral.

A curva fechada que envolve a corrente elétrica é conhecida como Amperiana.

<sup>29</sup>Disponível em: [http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Fundamentos\\_Eletricidade/Aula\\_Eletromagnetismo.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Fundamentos_Eletricidade/Aula_Eletromagnetismo.pdf) Acesso: 18/06/2018

A lei de Ampère se aplica de forma elegante em situações que envolva simetria, é considerada mais fundamental do que a lei de Biot-Savart sendo uma das quatro equações de Maxwell.

No caso especial do fio retilíneo percorrido por corrente elétrica, usando a simetria do fio pode-se provar a expressão que permite calcular o campo magnético de forma muito prática pela lei de Ampère:

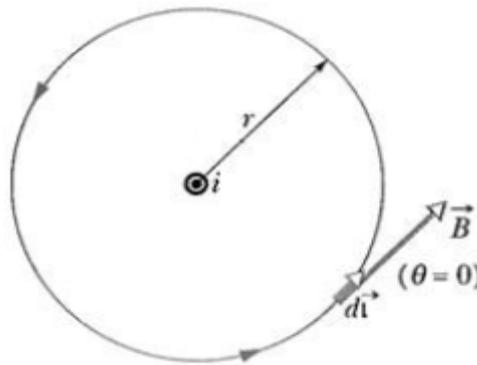


Figura 30: Fio percorrido por corrente elétrica saindo do plano da página<sup>30</sup>

Fonte: Portal professor Petry

Neste caso por causa da simetria o módulo do vetor campo magnético é constante ( $dB = B$ ), e o ângulo  $\theta$  é nulo em cada ponto da curva, assim:

$$\cos \theta = \cos 0^\circ = 1$$

$$\sum \Delta B \cdot dl \cdot \cos 0^\circ = \mu \sum i$$

$$B \cdot \sum dl = \mu i$$

Sendo:  $\sum dl = 2\pi r$  (Comprimento da circunferência), temos:

$$B \cdot 2\pi r = \mu i$$

<sup>30</sup>Disponível em: [http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Fundamentos\\_Eletricidade/Aula\\_Eletromagnetismo.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Fundamentos_Eletricidade/Aula_Eletromagnetismo.pdf) Acesso: 18/06/2018

ou, no vácuo:

$$B = \frac{\mu_0 i}{2\pi r}$$

Esta expressão é bastante utilizada no ensino médio, no entanto os professores em sua maioria a utilizam de forma mecânica, ou seja, levando os alunos a decorá-la sem a compreensão do conceito de campo e sua relação com corrente elétrica. Esperamos com nosso modelo de Terrella auxiliar o processo de aprendizagem dos conceitos de campo magnético e sua relação com a corrente elétrica de forma significativa.

Ao colocarmos uma agulha magnética num ponto P ao redor do fio seu ponteiro se orienta na direção do vetor campo magnético existente em P com o polo norte da bússola apontando no sentido do vetor campo magnético.

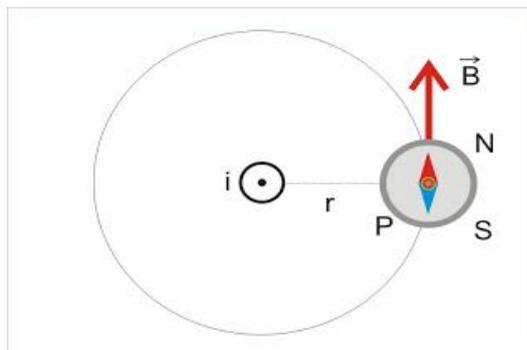


Figura 31: Campo magnético ao redor do fio alinhando a bússola<sup>31</sup>.

Fonte: Blog Fundamentos da Física

A figura seguinte mostra o efeito da corrente elétrica na produção de campo magnético num fio, alinhando as bússolas e as limalhas de ferro.

<sup>31</sup> Disponível em: < [http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2014/09/cursos-do-blog-eletricidade\\_24.html](http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2014/09/cursos-do-blog-eletricidade_24.html) > Acesso: 18/06/2018

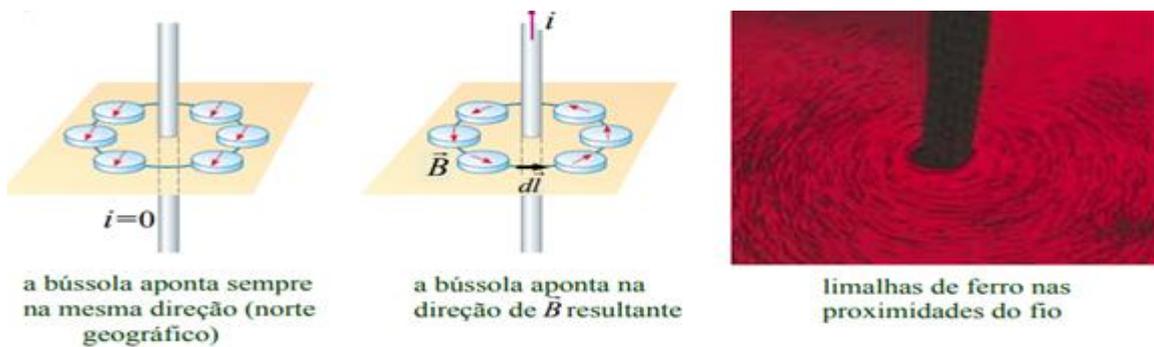


Figura 32: Campo magnético produzido por uma corrente elétrica constante num fio retilíneo longo<sup>32</sup>.

Fonte: Portal da Unicamp

Além da expressão do campo magnético, Ampère desenvolveu uma regra para encontrar o sentido do campo através da corrente elétrica, a regra ficou conhecida como a regra da mão direita. Dispondo o dedo polegar da mão direita no sentido da corrente elétrica a palma da mão envolvendo a corrente fornecerá o sentido do campo.



Figura 33: Regra da mão direita ela fornece o sentido do campo magnético<sup>33</sup>

Fonte: Slideplayer

<sup>32</sup> Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/f328/files/2013/10/Aula-09-F328-2S-2013.pdf>> Acesso 31 de janeiro de 2018.

<sup>33</sup> Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/1801546/7/images/11>> Acesso: 06 de Fevereiro de 2018

### 2.2.2.2 A lei de Biot-Savart

Como citado anteriormente Jean-Baptiste Biot e Félix Savart deduziram uma lei que descrevia matematicamente o campo magnético que era gerado por corrente elétrica num condutor. Ela se aplica em situações em que a corrente é constante, sendo uma variação algébrica da lei de Ampère.

Para um condutor qualquer a Lei de Biot-Savart pode ser obtido a partir da soma das contribuições dos campos magnéticos pelos vários trechos do fio percorridos por corrente (GREF,2012,p.160).

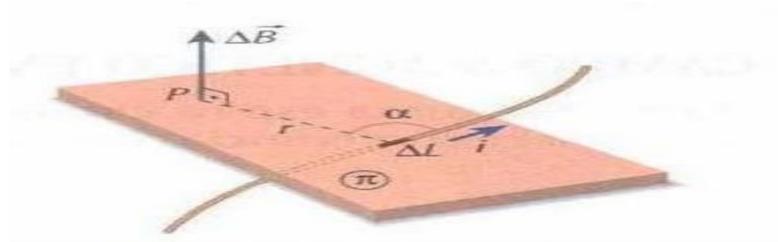


Figura 34: Campo magnético  $\Delta B$  gerado a partir um pequeno segmento de fio  $\Delta L$ , a uma distância  $r$  onde situa-se o ponto  $P$  contido num plano  $\pi$ <sup>34</sup>.

Fonte: Portal Professor Petry

Para se determinar o valor do campo magnético produzido pela corrente em um ponto  $P$ , dividirmos o fio em pedaços pequenos ( $\Delta L$ ) seguindo o esquema da figura anterior.

Assim a lei de Biot-Savart nos fornece a expressão para o cálculo do módulo do campo magnético produzido por cada um dos pequenos pedaços do fio (AMBRÓSIO, 2016):

$$\Delta B = \mu_0 \cdot i \cdot \Delta L \cdot \frac{\text{sen} \alpha}{4\pi r^2}$$

<sup>34</sup>Disponível em: [http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Fundamentos\\_Elettricidade/Aula\\_Eletromagnetismo.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Fundamentos_Elettricidade/Aula_Eletromagnetismo.pdf) Acesso: 18/06/2018

A direção e o sentido são determinados pela regra da mão direita, com o polegar posicionado no sentido da corrente.

Para o caso de uma espira circular:

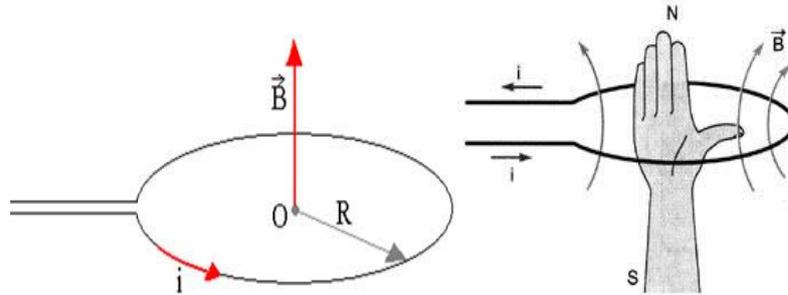


Figura 35: Regra da mão direita para determinar o campo magnético numa espira percorrida por corrente elétrica<sup>35</sup>.

O campo magnético no interior de uma espira circular pode ser expresso matematicamente seguindo o raciocínio para uma espira dividida em pedaços  $\Delta L$ , esses pedacinhos percorridos por corrente elétrica produzirão um campo total dado por:

$$B = \sum_{\infty} \Delta B$$

Usando a lei de Biot-Savart para a espira, sabendo que  $\alpha = 90^\circ$  e  $\sin 90^\circ = 1$ , temos:

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{4\pi r^2} (\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \dots)$$

Sendo a soma de todos os pedaços o comprimento da circunferência que forma a espira:

$$(\Delta L_1 + \Delta L_2 + \Delta L_3 + \Delta L_4 + \dots) = 2\pi r$$

<sup>35</sup> Disponível em: < <https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/upload/conteudo/images/regra-mao-direita.jpg> >  
Acesso em: 10/05/2018

Substituindo este resultado acima na expressão anterior e simplificando, temos a expressão do campo magnético no centro de uma espira circular de raio  $r$ :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot i}{2r}$$

Esta expressão também é bastante utilizada no ensino médio, ela fundamenta nosso trabalho em termos matemáticos, porém pesquisas apontam que sua utilização para demonstração da relação entre campo magnético e corrente elétrica é muitas vezes ineficiente, pois este fato exige um nível de abstração que muitos alunos não possuem (FERNANDES,2015).

Sendo assim nossa proposta se constitui numa aula sem equações matemáticas num primeiro momento, usando a Terrella como elemento facilitador de aprendizagem significativa, demonstrando através dela a relação entre campo magnético e corrente elétrica.

Pode-se ainda provar através do cálculo de nível superior que uma espira percorrida por corrente elétrica se comporta semelhante a um ímã dipolar conforme Halliday e Resnick(2013), as linhas de campo se apresentam da seguinte maneira:

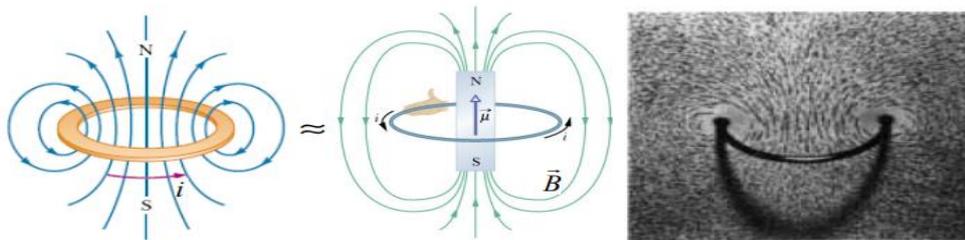


Figura 36: Espira percorrida por corrente elétrica tem comportamento aproximado de um ímã<sup>36</sup>.

Fonte: Portal da Unicamp

<sup>36</sup> Disponível em: <<https://sites.ifi.unicamp.br/f328/files/2013/10/Aula-09-F328-2S-2013.pdf>> Acesso: 31 de Janeiro de 2018.

Nosso modelo simplificado de geodínamo modeliza a Terra usando este argumento que o campo magnético terrestre é gerado semelhante a correntes elétricas circulando em espiras.

### 2.2.2.3 A Lei de Faraday

O fenômeno da indução eletromagnética descoberto por Faraday consiste no aparecimento de uma corrente elétrica, quando se move um ímã no interior de uma bobina, sem a necessidade de uma bateria para gerá-la, sendo chamada de corrente induzida.

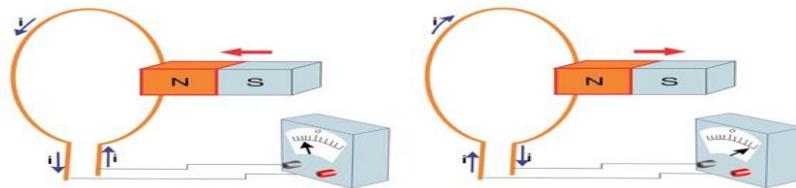


Figura 37: Movimento relativo entre o ímã e a espira gerando fenômeno da indução eletromagnética<sup>37</sup>.

Fonte: Portal Glbimg

Uma grandeza importante para quantificação da indução eletromagnética é a força eletromotriz ( $\mathcal{E}$ ) induzida que mede o trabalho realizado por unidade de carga necessária para produzir a corrente elétrica induzida conforme Halliday; Renisck (2013).

Para seu cálculo precisamos definir o fluxo magnético, ou seja, quantidade de campo magnético que atravessa uma espira de área  $A$  :

<sup>37</sup>Disponível em: <[http://s2.glbimg.com/xZZLmeEzkXOYi1I92U8q\\_qPd8gM=/0x0:1999x1157/620x359/s.glbimg.com/po/ek/f/original/2013/09/05/eletromagnetismo\\_1.jpg](http://s2.glbimg.com/xZZLmeEzkXOYi1I92U8q_qPd8gM=/0x0:1999x1157/620x359/s.glbimg.com/po/ek/f/original/2013/09/05/eletromagnetismo_1.jpg)> Acesso: 16 de Fevereiro de 2018

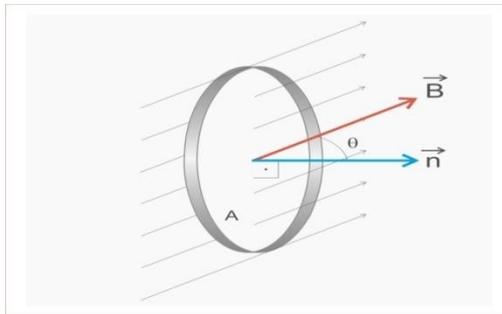


Figura 38: Representação Do Fluxo De Campo Magnético Na Superfície de área A<sup>38</sup>.

Fonte: Blog Fundamentos da Física

É por definição a grandeza escalar:

$$\phi = B \cdot A \cdot \cos\theta$$

Em que  $\theta$  é o ângulo entre o vetor campo magnético e o vetor normal à área da espira.

Diante da experimentação, Faraday chegou a conclusão que a variação do fluxo magnético temporal era responsável pela geração da força eletromotriz induzida, matematicamente:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\phi(B)}{\Delta t}$$

O sinal negativo na equação é interpretado pela lei de Lenz, por meio dela conhecemos o sentido da corrente induzida. A lei de Lenz nos diz:

A corrente induzida em uma espira tem um sentido tal que o campo magnético produzido pela corrente se opõe ao campo magnético que induz a corrente. O movimento do imã cria um dipolo magnético que se opõe ao movimento. (HALLIDAY; RESNICK, 2013, p. 251).

---

<sup>38</sup> Disponível em: [http://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292\\_2012/Cap8.pdf](http://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292_2012/Cap8.pdf) Acesso: 25 de Fevereiro de 2018

A figura mostra 33 o fenômeno da indução eletromagnética, quando o ímã se aproxima da espira ocorre a variação do fluxo (neste caso um aumento), induzindo o aparecimento da corrente induzida no sentido anti-horário segundo a lei de Lenz.

Sendo assim o momento magnético induzido opõe-se ao movimento relativo ente a espira e o ímã.

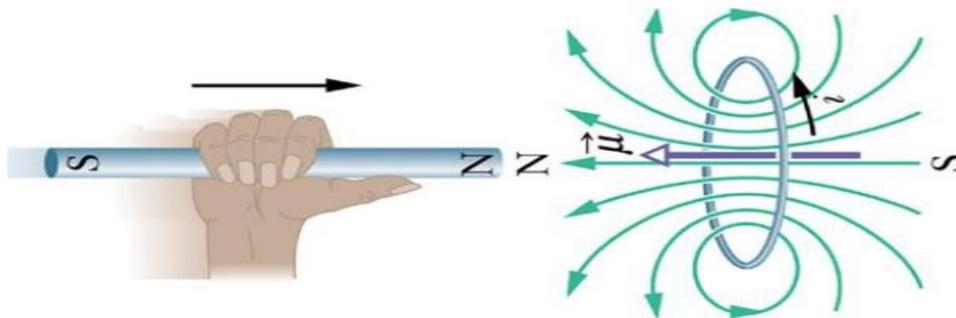


Figura 39: Corrente induzida na espira pelo resultado da variação do campo magnético dentro da espira<sup>39</sup>.

Fonte: Portal Slideplayer

Faraday após realizar uma análise mais profunda percebeu que a variação temporal do fluxo magnético na espira induz a formação de um campo elétrico induzido circulante ao redor da espira, já que o movimento de cargas elétricas (corrente induzida) necessita de um campo elétrico para existir, assim a lei de Faraday também pode ser escrita da seguinte forma: “Um campo magnético variável induz um campo elétrico induzido”.

<sup>39</sup> Disponível em: <<http://slideplayer.com.br/slide/3194983/>>. Acesso: 20 de Junho de 2018.

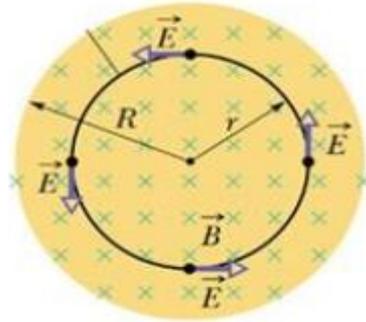


Figura 40: Campo elétrico induzido pela variação da intensidade do campo magnético representando a lei de indução de Faraday<sup>40</sup>.

Fonte: Portal Slideplayer

Se dividirmos a curva acima em vetores deslocamento elementares de módulo  $dl$ , podemos escrever de forma simplificada a expressão que relaciona o campo elétrico induzido como consequência da variação do campo magnético:

$$\sum E \cdot dl = - \frac{\Delta\phi(B)}{\Delta t}$$

Na qual,  $E$  se constitui o módulo do vetor campo elétrico induzido. A equação acima é uma das equações de Maxwell.

A lei de Faraday nos fornece o arcabouço teórico, para o entendimento da teoria do geodínamo moderna.

#### 2.2.2.4 As equações de Maxwell: O triunfo dos campos

Maxwell conseguiu incorporar todos os fenômenos do eletromagnetismo clássico de forma quantitativa através de quatro equações, consideradas a carta Magna do eletromagnetismo como ressalta Guimarães (2011, p.174). Ele não inventou as equações que levam seu nome, na verdade uma delas a quarta equação foi modificada por ele, sendo hoje conhecida como a Lei de Ampère-Maxwell (MOREIRA, 2009).

<sup>40</sup> Disponível em: < <http://slideplayer.com.br/slide/3194983/> > Acesso: 20 de Junho de 2018.

A sua maior contribuição foi mostrar que essas equações formam a base da interpretação de todos os fenômenos eletromagnéticos baseados no conceito de campos elétricos e magnéticos. As equações de Maxwell juntamente e as equações da hidrodinâmica (MHD) são a base para a teoria do geodínamo atual. Na tabela abaixo temos as equações de Maxwell na forma integral.

Tabela 1: Equações de Maxwell<sup>41</sup>

NO.	NOME	EQUAÇÃO
I	Lei de Gauss (elétrica)	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{A} = \frac{q}{\epsilon_0}$
II	Lei de Gauss (magnética)	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{A} = 0$
III	Lei de Faraday	$\oint \vec{E} \cdot d\vec{s} = -\frac{d\Phi_B}{dt}$
IV	Lei de Ampère-Maxwell	$\oint \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \epsilon_0 \frac{d\Phi_E}{dt} + \mu_0 i$

Fonte: Alessandro Santos

As equações de Maxwell podem ser expressas de acordo com seu significado físico (não trataremos da parte matemática) da seguinte forma de acordo com MOREIRA (2009):

I- Cargas elétricas em repouso são geradoras de campo elétrico.

II- Não existem monopolos magnéticos.

III- Um campo magnético variável produz um campo elétrico.

IV- Um campo magnético pode ser produzido tanto por uma corrente elétrica como por um campo elétrico variável.

A última equação conhecida como lei de Ampère e Maxwell nos diz que campos magnéticos podem ser gerados em duas formas: através de correntes

<sup>41</sup>Disponível em: <[http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas\\_de\\_aula/img606.gif](http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas_de_aula/img606.gif)> Acesso: 23 de Fevereiro de 2018

elétricas, que é a lei de Ampère original, e por campos elétricos que variam no tempo, que é a correção proposta por Maxwell.

## **2.3 A teoria do Geodínamo**

### **2.3.1 A origem do campo magnético da Terra e sua importância**

Estudos avançados sobre o campo magnético terrestre (CMT) revelam que sua origem se deve a fatores externos e internos do nosso planeta, sendo de origem interna 90% do CMT que conhecemos (NOVA E POLETTI, 2014).

Neste capítulo discutiremos os fatores responsáveis pelo campo magnético do nosso planeta, enfatizando o papel da corrente elétrica nesse processo.

No seu livro De magnete lançado em 1600, Willian Gilbert afirmava: *Magnus magnes ipse est globus terretris* “O globo da Terra é um grande ímã.” Conforme Guimarães (2011). Esse foi o passo inicial para o entendimento do campo magnético terrestre, na busca de uma explicação coerente para o alinhamento da bússola na direção norte-sul da Terra.

Ao longo do tempo construiu-se um modelo, onde o CMT assemelha-se, ao campo gerado por um ímã dipolar localizado no centro da Terra.

Os eixos do dipolo estariam inclinados aproximadamente de  $11,5^\circ$  em relação ao eixo de rotação da Terra conforme Halliday e Resnick (2013, p.332).

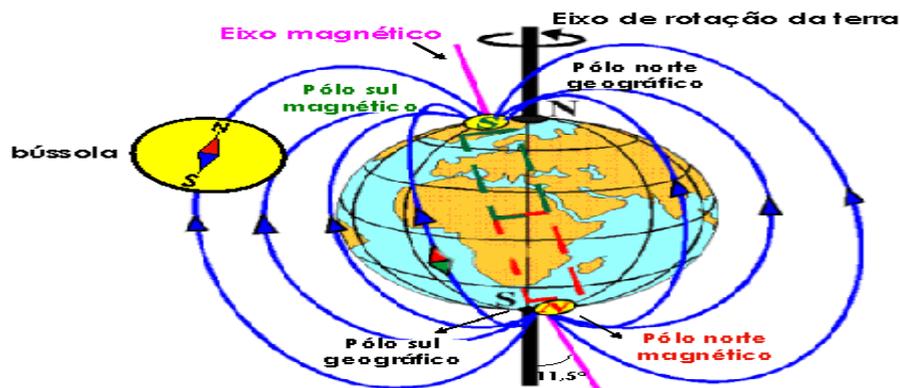


Figura 41: Campo magnético terrestre modelo do ímã dipolar<sup>42</sup>.

Fonte: Portal do Mec

Com os estudos de Pierre Curie (1859 – 1906), descobriu-se que as substâncias ferromagnéticas apresentam uma temperatura, acima da qual as substâncias se desmagnetizam.

Como discutimos anteriormente o ferromagnetismo surge da forte tendência dos spins dos átomos deste material de se alinhar uns aos outros, dando origem a um momento magnético espontâneo.

Este alinhamento espontâneo tende a diminuir à medida que a temperatura do sistema aumenta até o material se tornar paramagnético, numa temperatura crítica, conhecida como ponto de Curie (CONSALTER, 2006).

O conhecimento atual da estrutura da Terra nos permite afirmar que o campo magnético terrestre não é produzido por um grande ímã de material ferromagnético como Gilbert pensava, pois dos 6.400 km aproximadamente, que separam a superfície da Terra do seu núcleo, a cada 33m de profundidade das camadas superficiais há um aumento médio de 1°C de temperatura o chamado grau geotérmico (COELHO E TERRA, 2005, p.161).

A temperatura no núcleo da Terra é alta superando muito o ponto Curie dos materiais ferromagnéticos presentes nela, assim a Terra não pode ser um grande

<sup>42</sup>Disponível em: <<http://objetoseducacionais2.mec.gov.br/bitstream/handle/mec/15755/imagens/fig2.gif>> Acesso: 28 de fevereiro de 2018

imã nos termos da teoria de Gilbert. A figura 42 mostra a composição interna da Terra.

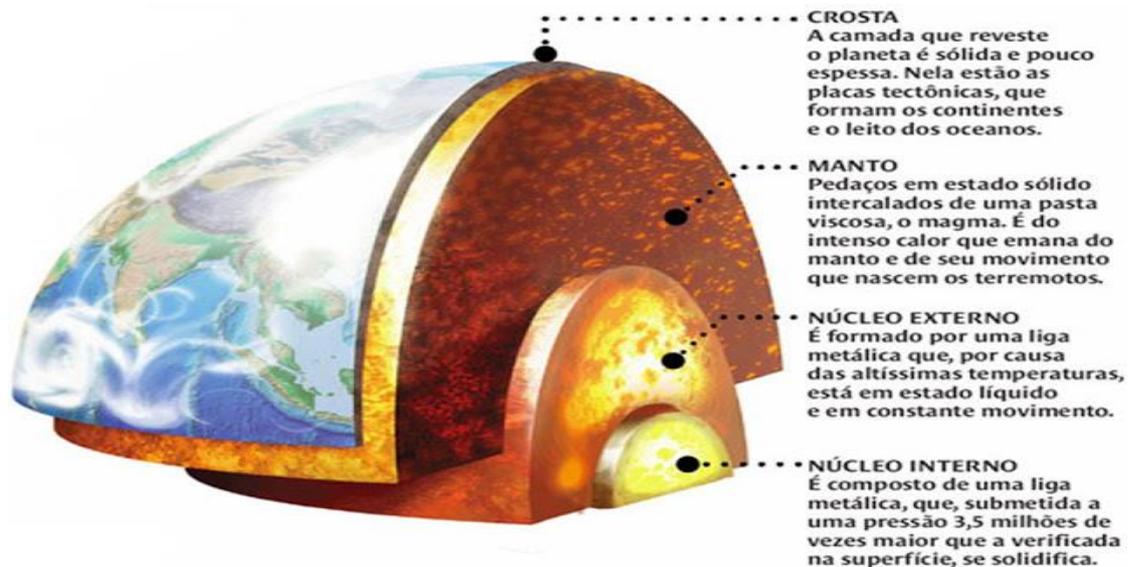


Figura 42: Estrutura da Terra<sup>43</sup>.

Fonte: Portal suporte geográfico

Em termos de distância e massa (CORREIA, 2007):

- A partir do seu centro, o núcleo interno tem em torno de 1.228 km de raio e o núcleo externo se estende desse ponto até 3.488 km radialmente, somando 54% do diâmetro do planeta. Os dois núcleos juntos contêm 32% da massa terrestre.
- Entre o núcleo externo e o manto existe uma camada de transição com uma espessura de 190 km. Nela ocorrem movimentos provocados por convecção, por causa da constante troca de calor entre essas camadas da Terra.

<sup>43</sup> Disponível em:< <https://suportegeografico77.blogspot.com/2017/12>> Acesso:28 de Fevereiro de 2018

- O manto se estende de 3.678 km até 6.338 km de raio, chegando a conter mais de 67% da massa terrestre. Os 40 km restantes representam a espessura da crosta terrestre.
- O núcleo é composto por 80% de ferro e 19% de níquel. A porção interna é sólida e a porção externa é líquida e extremamente condutora de eletricidade. O manto é rico em silício, oxigênio e magnésio.

A figura 43 mostra as temperaturas no interior da Terra, enquanto a tabela 2 mostra as temperaturas Curie de materiais ferromagnéticos presentes no interior da Terra, o que impede sua magnetização permanente, mostrando que a teoria de Willian Gilbert precisava ser revista.

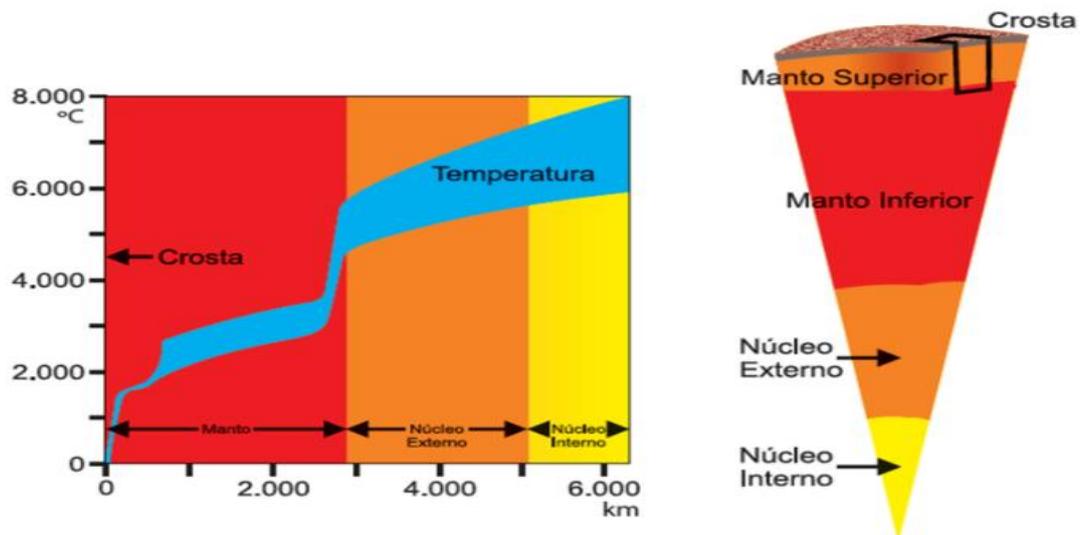


Figura 43: A temperatura nas diversas camadas da Terra<sup>44</sup>.

Fonte: Portal UFJF física e cidadania

<sup>44</sup> Disponível em: <<http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/aprendendo-e-ensinando/>>. Acesso: 03 de Março de 2018.

Tabela 2: Temperatura Curie para as principais substâncias Ferromagnéticas<sup>45</sup>.

Material Ferromagnético	Ponto Curie (k)
Ferro (Fe)	1043
Cobalto (Co)	1388
Níquel (Ni)	627

Fonte: Portal UFJF física e cidadania

Com o avanço dos estudos sobre o interior da Terra, os cientistas chegaram à conclusão que a causa mais provável da origem interna do campo magnético terrestre (campo principal) seriam correntes elétricas no núcleo externo líquido da Terra (teoria do dínamo interno ou geodínamo).

Segundo Nova e poletti (2014) também há contribuição do campo crustal, produzidos por materiais magnetizados da crosta Terrestre, na forma de rochas magnéticas, como o basalto.

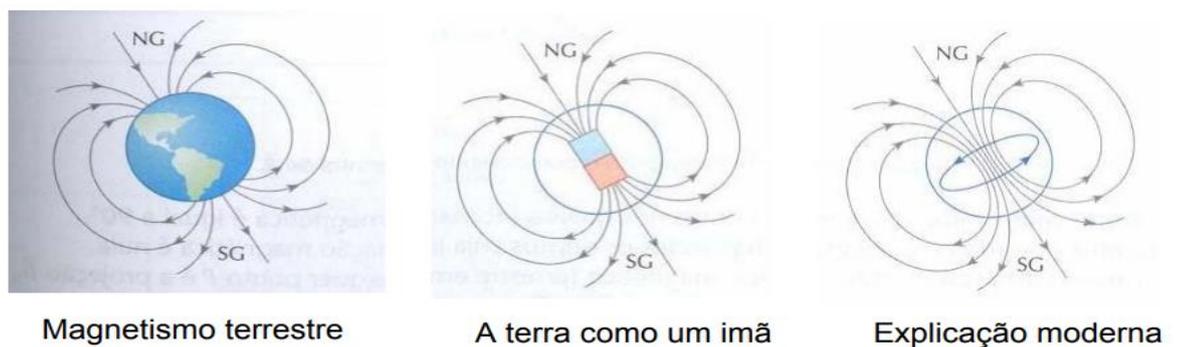


Figura 44: Origem do campo magnético terrestre<sup>46</sup>

Fonte: Portal Professor Petry

<sup>45</sup> Disponível em: <http://www.ufjf.br/fisicaecidadania/aprendendo-e-ensinando/>. Acesso: 03 de Março de 2018.

<sup>46</sup> Disponível em: [http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia\\_CEFET/Fundamentos\\_Eletricidade/Aula\\_Eletromagnetismo.pdf](http://www.professorpetry.com.br/Ensino/Repositorio/Docencia_CEFET/Fundamentos_Eletricidade/Aula_Eletromagnetismo.pdf) Acesso: 18/06/2018

Um importante ramo da geofísica é o Paleomagnetismo que estuda o campo geomagnético registrado na magnetização das rochas.

As descobertas nessa área provaram que as rochas vulcânicas adquirem a magnetização durante seu resfriamento e a direção da magnetização remanescente é a mesma do campo geomagnético no momento do resfriamento. O estudo do magnetismo das rochas indica a reversão temporal dos polos magnéticos da Terra, a conhecida variação secular.

No que diz respeito a medições do campo magnético terrestre, Carl Friedrich Gauss foi o primeiro a medir a sua intensidade em 1835 usando um magnetômetro criado por ele. Nos polos, a intensidade do campo é em torno de 0,7 gauss ( $1\text{G} = 10^{-4}$  teslas); no equador é aproximadamente de 0,35 G segundo dados da IAG (IAG,2018).

Outro fato importante sobre o CMT é a sua diminuição de intensidade média que hoje corresponde a 0,5 G; ele diminui cerca de 5% a cada século, o mecanismo por trás desse fenômeno ainda não foi desvendado pelos cientistas.

A tabela a seguir mostra alguns valores típicos de campo magnético de alguns objetos.

Tabela 3: Campo magnético valores típicos<sup>47</sup>.

Local magneticamente blindado	$10^{-14} T$
Na superfície terrestre	$\sim 50\mu T$
De um pequeno ímã de barra	$0,01T$
Necessário para saturar o ferro	$2 T$
Maiores campos produzidos por correntes	$CC : 40 T$ pulsadas: $800 T$
No núcleo atômico	$10^3 T$
Campo magnético numa estrela de nêutrons	$10^8 T$

Fonte: Graça (2018)

<sup>47</sup> Disponível em:< [http://coral.ufsm.br/cograça/graca6\\_1.pdf](http://coral.ufsm.br/cograça/graca6_1.pdf)>. Acesso: 10/06/2018

No Atlântico sul, numa região vasta que inclui o Brasil, o campo magnético tem um valor baixo, região conhecida como anomalia magnética do atlântico sul (AMAS), a intensidade do CMT nessa região é de 0,24 G, próximo ao Rio de Janeiro (CPRM, 2015).

O valor do campo magnético médio no núcleo externo da Terra foi estimado em 25 G, 50 vezes maior que o campo na superfície segundo dados da CPRM (2015).

O campo magnético externo ocorre pela interação do CMT de origem interna com o fluxo de partículas que vem do sol (vento solar) na ionosfera localizada entre 60 km e 1000 km de altitude, ela recebe esse nome porque possui muitas partículas carregadas eletricamente por fotoionização, como íons, elétrons livres arrancados das moléculas dos gases atmosféricos por raios ultravioleta, induzindo a formação de correntes elétricas em altitudes acima de 100 km, entre a ionosfera e parte da magnetosfera, são essas correntes responsáveis pelo campo magnético externo á Terra (HARTMANN, 2005).

A Magnetosfera é a parte exterior da atmosfera, onde o campo magnético interno interatua com as correntes elétricas da ionosfera. Ela age como um escudo e obstáculo ao vento solar e raios cósmicos, demonstrando sua grande importância para sobrevivência humana como disserta Hartmann (2005).

As partículas vindas do sol são defletidas pelo campo magnético da Terra sob a ação da força magnética, algumas delas ficando presas nas regiões mais externas da magnetosfera, formando um cinturão de radiação conhecido como cinturão de Van Allen. Os prótons ficam no cinturão interno, enquanto os elétrons ficam no cinturão externo.

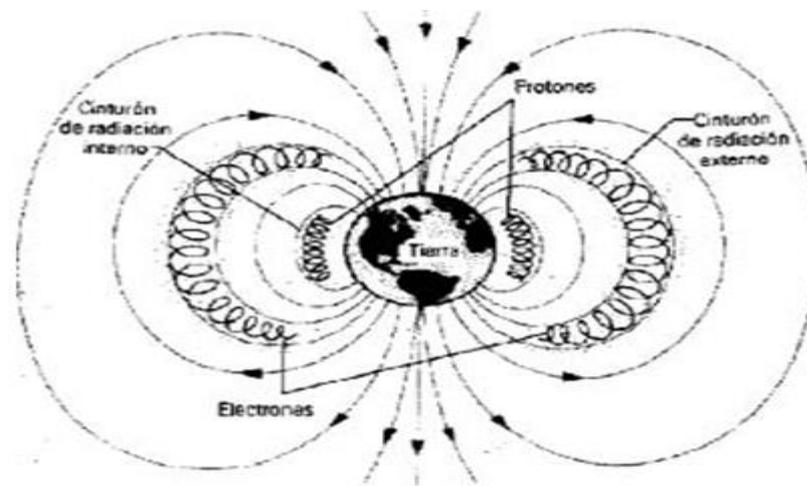


Figura 45: Cinturões de Van Allen<sup>48</sup>

Fonte: Portal Monografias

A despeito do campo protetor da Terra, alguns raios cósmicos vindos do espaço alcançam a superfície terrestre, ocasionando perturbações em satélites e sistemas de distribuição de energia e telecomunicações, principalmente na região da AMAS.

Outro fenômeno ligado ao CMT que ocorre nos polos originando belas imagens são as auroras Boreais e Austrais, pois segundo a expressão da força magnética seu valor depende do seno do ângulo entre o campo magnético e a velocidade da mesma, a força magnética que desvia a partícula vai diminuindo conforme o ângulo entre o campo e a velocidade diminui, elas então adentram a atmosfera terrestre espiralando colidindo com as moléculas dos gases atmosféricos que por sua vez emitem luz, produzindo as auroras (FRANCO; ROCHA, 2016).

A figura a seguir representa a Terra e sua magnetosfera interagindo com as partículas do sol.

<sup>48</sup>Disponível em: <http://www.monografias.com/trabajos101/teoriaelectromagnetica/teoriaelectromagnetica3.shtml>. Acesso em: 18/06/2018

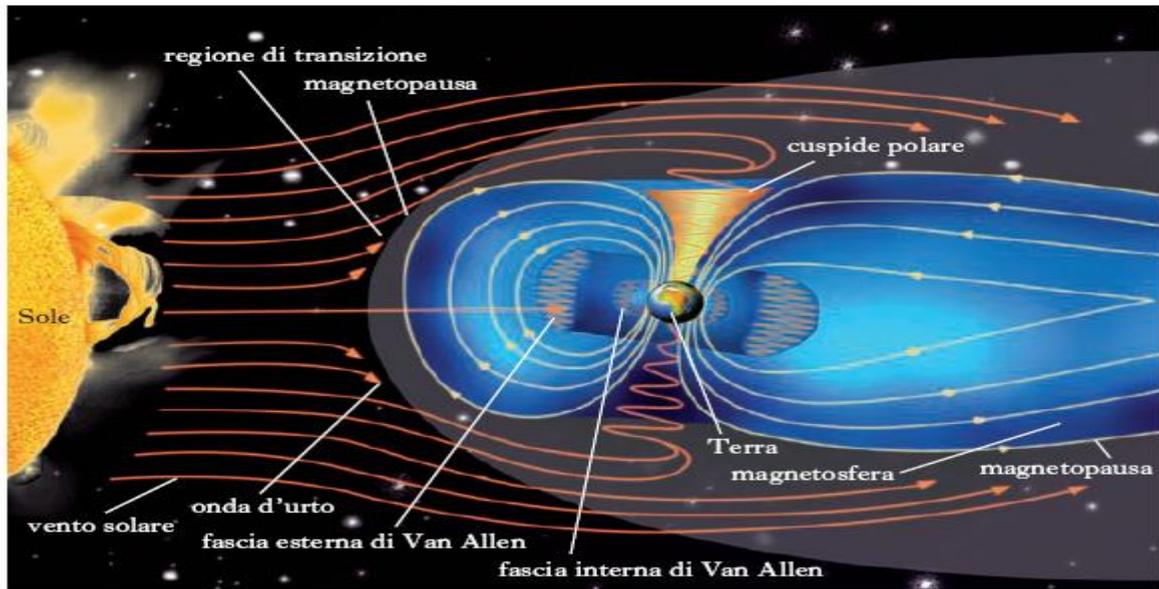


Figura 46: Partículas do vento solar interagindo como o CMT<sup>49</sup>.

Fonte: Portal Gstatic

Embora seja inegável a existência do CMT, Os cientistas ainda não determinaram a causa exata da sua origem e continuidade, a teoria aceita hoje, mesmo não sendo unanimidade por ser muito complexa e ainda inacabada é a teoria do geodínamo.

### 2.3.2 O dínamo terrestre

De tudo que foi tratado até aqui percebemos que o modelo de terrela defendido por Willian Gilbert atribuía a origem do campo magnético da Terra a fatores internos, para ele era oriundo de rochas no centro da Terra capazes de reter magnetismo (NELSON; MEDEIROS, 2012).

Logo essa ideia sofreu oposição e em 1635, Gellibrand estudando o alinhamento das bússolas percebeu que elas sofrem mudanças graduais ao longo dos anos, a chamada variação secular.

<sup>49</sup>Disponível em: <<https://encryptedtbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQIK2cxJX6eNkbGJLgVmFApOI11177e7u4sutL0z42XKbgh16G>>. Acesso :28 Fevereiro de 2018

De forma geral, podemos dizer que a continuidade do CMT pela ação do geodínamo depende de três fatores de acordo com Nelson e Medeiros (2012):

- Fluido condutor em movimento no núcleo externo (corrente elétrica).
- Suprimento de energia através da convecção térmica no interior do planeta.
- Rotação da Terra.

Em 1919 o matemático Irlandês Joseph Larmor, propôs que a Terra tem seu campo magnético produzido por um dínamo interno autossustentável.

O dínamo elétrico funciona convertendo energia de movimento (mecânica) em elétrica através da variação do fluxo magnético. O geodínamo por analogia relaciona o movimento do plasma no núcleo externo da Terra com a variação temporal do campo magnético assim o plasma em movimento gera correntes elétricas que por sua vez geram campos magnéticos segundo a lei de Ampère.

As linhas de campo são esticadas e torcidas pela movimentação do fluido e pela rotação da Terra, ocorrendo diminuição no fluxo magnético e por indução eletromagnética o campo magnético original é regenerado. Todos esses fenômenos são representados na equação cinemática do geodínamo que nasce da união das equações de Maxwell e da Hidrodinâmica (MHD), na forma diferencial:

$$\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} = \eta \nabla^2 \mathbf{B} + \nabla \times (\mathbf{u} \times \mathbf{B})$$

Na qual:

$\mathbf{u}$ : Velocidade do fluido

$\mathbf{B}$ : Campo magnético

$\eta = 1/\sigma\mu$  é a difusão magnética, sendo  $\sigma$  a condutividade elétrica e  $\mu$  a permeabilidade magnética do meio.

Ela descreve a evolução temporal do campo magnético devido a sua interação com um fluido em movimento, o primeiro termo do lado direito é um termo convectivo associado ao movimento do fluido, com a diminuição do campo magnético por efeitos resistivos ele o regenera, nesse modelo a convecção térmica faz o papel de provedora de energia do geodínamo (ALBARELLI; LEITE, 2016).

A convecção térmica ocorre por gradientes de temperatura nas diferentes camadas do fluido, os estudos sobre a estrutura interna da Terra demonstram que a temperatura aumenta em direção ao seu centro.

As camadas inferiores estando mais quentes se tornam mais leves, provocando um movimento de flutuação no fluido aquecido, resultando em um movimento de ascensão, ao subir a camada de fluido se esfria (ficando mais densa) voltando para seu estado inicial, constituindo um processo cíclico. Esta flutuabilidade é acentuada pela separação química, à medida que o núcleo esfria, parte do ferro fundido solidifica e adere ao núcleo interno, restando no fluido os elementos mais leves, processo conhecido como convecção posicional (PINHEIRO, 2012).

Os movimentos convectivos são muito rápidos no núcleo externo, induzindo correntes elétricas na liga líquida de ferro-níquel contidas neste núcleo da Terra.



Figura 47: Movimento convectivo do fluido<sup>50</sup>.

Fonte: Portal pt.scribd

<sup>50</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodnamo>>. Acesso em: 05 de fevereiro de. 2018

A figura 48 mostra como as linhas de campo magnético são influenciadas pela variação de temperatura e convecção térmica do fluido no núcleo externo.

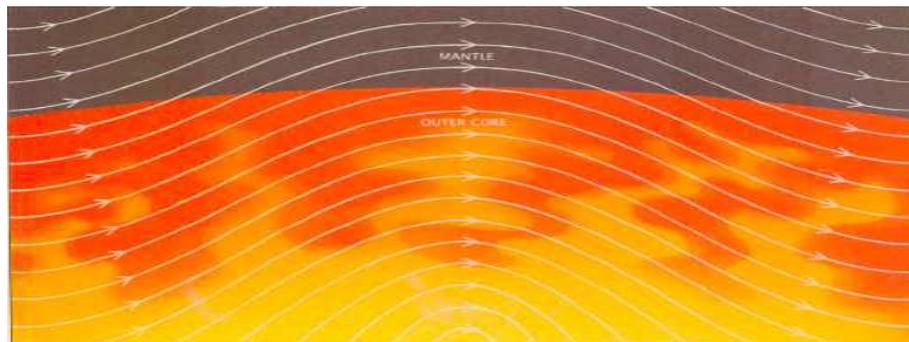


Figura 48: Representação das linhas de campo magnético no interior do fluido<sup>51</sup>.

Fonte: Portal pt.scribd

Uma análise mais profunda mostra como as leis físicas do eletromagnetismo explicam a autossustentabilidade do CMT, primeiro à corrente elétrica se move em um circuito fechado gerando o campo magnético seguindo a Lei de Ampère; devido à rotação da Terra o fluxo magnético é alterado, ou seja, um campo magnético variável gera um campo elétrico seguindo a Lei de Faraday; e os campos elétricos e magnéticos exercem força sobre os portadores de carga que se movem no núcleo externo.

Com base em sistemas de plasma em regime turbulento, em 1979 Eugene Newman Parker astrofísico estadunidense desenvolveu um modelo de dínamo, onde o campo magnético possui duas componentes: o campo poloidal (tem componente radial) sendo observado na superfície terrestre e o toroidal (não tem componente radial) este fica aprisionado no núcleo terrestre.

Esses campos são importantes para entendermos como a rotação da Terra influencia o CMT (PINHEIRO, 2012).

<sup>51</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodinamo>>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2018

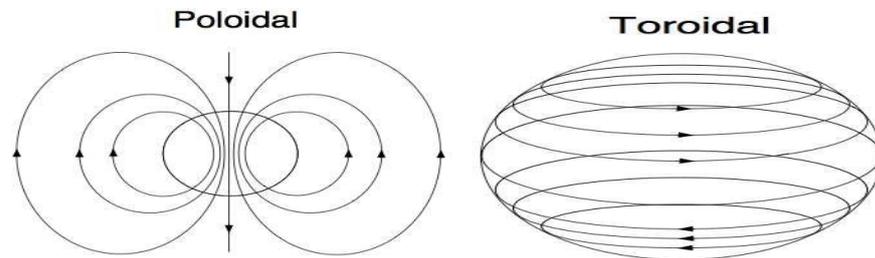


Figura 49: Representação das duas componentes do campo magnético da Terra<sup>52</sup>.

Fonte: Portal pt.scribd

Concentrando-se em estudar os movimentos convectivos turbulentos, como o do interior da Terra e estrelas em geral, Parker percebeu que esses movimentos são guiados por gradientes radiais de temperatura, gerando movimentos ascendentes de bolhas no plasma.

Considerando um campo magnético original (toroidal) ocorre um alongamento nas linhas de campo toroidais por causa do movimento poloidal do fluido (ascendente), a rotação da Terra através da força de coriolis, provoca uma torção no fluido. Por este motivo as linhas de campo também sofrerão torção, gerando um campo magnético poloidal a partir do campo toroidal inicial, esse mecanismo é chamado de efeito ( $\alpha$ ).

As linhas de campo magnético assumem a forma representada na figura conforme Pinheiro (2012).

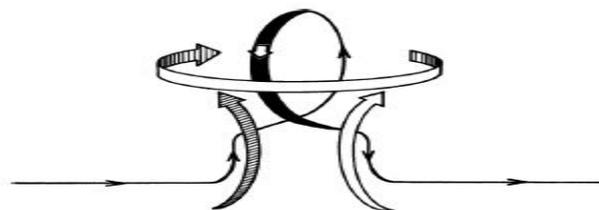


Figura 50: Torção das linhas de campo toroidal devido ao movimento turbulento helicoidal ascendente das bolhas de plasma<sup>53</sup>.

Fonte: Nelson e Medeiros (2012)

<sup>52</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodinamo>>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2018

<sup>53</sup> Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v34n4/a22v34n4.pdf>>. Acesso em: 12 de maio 2018.

O efeito contrário também ocorre, a geração de campos magnéticos toroidais a partir dos campos magnéticos poloidais, esse mecanismo conhecido como efeito ( $\omega$ ), ocorre por causa do movimento de rotação diferencial (rotação que depende da distância ao eixo de giro), o campo poloidal é então prolongado, dando origem a um campo magnético poloidal.

Esses efeitos estão representados na figura 53:

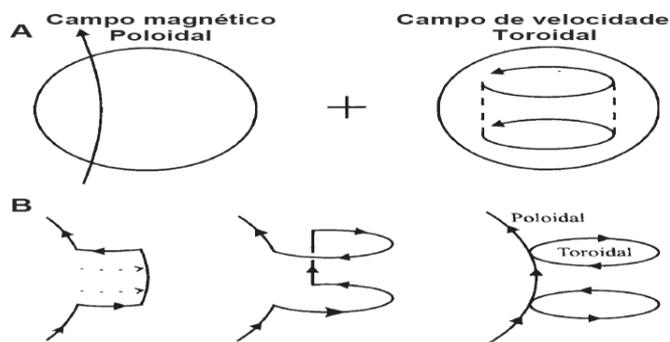


Figura 51: Os efeitos ( $\alpha$ ) e ( $\omega$ )<sup>54</sup>.

Fonte: Portal pt.scribd

A figura abaixo mostra os efeitos combinados ( $\alpha$ - $\omega$ ) em etapas:

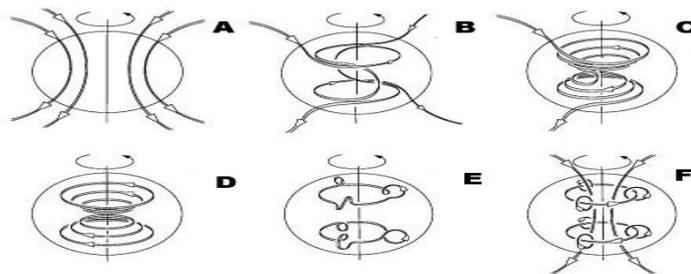


Figura 52: Dínamo ( $\alpha$ - $\omega$ ), efeito Omega (A-D) e o efeito alpha (D-F), cujo efeito final é semelhante a um campo de um ímã dipolar<sup>55</sup>.

Fonte: Portal pt.scribd

<sup>54</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodinamo>>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2018

<sup>55</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodinamo>>. Acesso em: 05 de Fevereiro de 2018

A rotação da Terra contribui gerando a força de coriolis, esta atua organizando o fluido em rolos alinhados na direção do eixo polar norte-sul. Esta força juntamente com a convecção térmica do fluido condutor sustenta o campo magnético do nosso planeta.

Considerando todos os efeitos descritos, o geodínamo terrestre gera linhas de campo semelhantes ao de um dipolo magnético cujo eixo está bem próximo ao eixo de rotação da Terra.

A próxima figura mostra os efeitos combinados da convecção e rotação terrestre na geração do CMT conforme Pinheiro (2012).

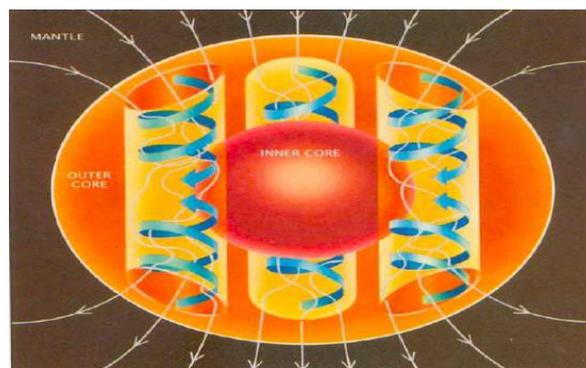


Figura 53: Dínamo da Terra<sup>56</sup>

Fonte: Portal pt.scribd

A variação secular e anomalia do atlântico sul citadas anteriormente estão associadas ao fato de que o manto e a crosta terrestre estejam flutuando em cima de um mar tempestuoso de condutores de eletricidade do ferro fundido (núcleo externo), onde ocorrem mudanças nas correntes elétricas por processo de convecção térmica.

Essas variações ocorrem lentamente chegando a cobrir um período de milhares de anos. O estudo do CMT é muito amplo, envolvendo estudos de várias

<sup>56</sup> Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodinamo>>. Acesso em: 05 Fevereiro 2018

áreas, como geologia, química, matemática, física, astrofísica e computação avançada.

Atualmente os pesquisadores estudam o campo magnético principal da Terra através de modelos matemáticos complexos (MHD) e simulação computacional. Já o campo magnético externo é estudado por dados obtidos por satélites que captam variações nas correntes elétricas na ionosfera provocadas pelo vento solar e radiações cósmicas como disserta Hartmann (2005).

O modelo de Terrella que utilizaremos como experimento é extremamente simplificado, admitiremos que a Terra seja formada por bobinas condutoras ortogonais percorridas por corrente elétrica, simulando as correntes no núcleo externo da Terra.

### **2.3.3 Campo magnético: Um ingrediente universal**

Por três séculos a Terra foi o único objeto astronômico reconhecidamente magnetizado, o conhecimento atual nos permite afirmar que as grandes estrelas, a lua, o sol, as galáxias, ou seja, o cosmo possui esse ingrediente chamado magnetismo.

A lua possui campo magnético 100 milhões de vez menor que o da Terra, ela não possui um dínamo interno, acredita-se que seu magnetismo é proveniente de rochas magnéticas conforme Guimarães (2011).

Sondas especiais são usadas para detectar o campo magnético dos planetas do sistema solar. O campo Medido em mercúrio a uma altura de 700 km do planeta é cerca de 1000 vezes menor que o da Terra, são discutidas três hipóteses para a manutenção de seu campo: um processo de dínamo, um campo magnético remanescente ou correntes elétricas induzidas na sua magnetosfera de acordo com Correia (2007).

A rotação do planeta Vênus é muito lenta comparada com a terrestre. A velocidade de rotação não fornece energia suficiente para o processo de dínamo, razão pela qual Vênus não apresenta campo magnético interno.

Sondas enviadas a Marte não mediram campo magnético de origem interna, isso quer dizer que Marte não possui o escudo protetor de origem magnética, sendo exposto ao vento solar e partículas cósmicas.

Júpiter e Saturno possuem campos magnéticos de altas intensidades, gerados pelos seus dínamos. Urano e Netuno têm seus dipolos bastante inclinados em relação aos eixos de rotação.

A figura 54 mostra os planetas do sistema solar, com seus respectivos dipolos e declinação magnética.

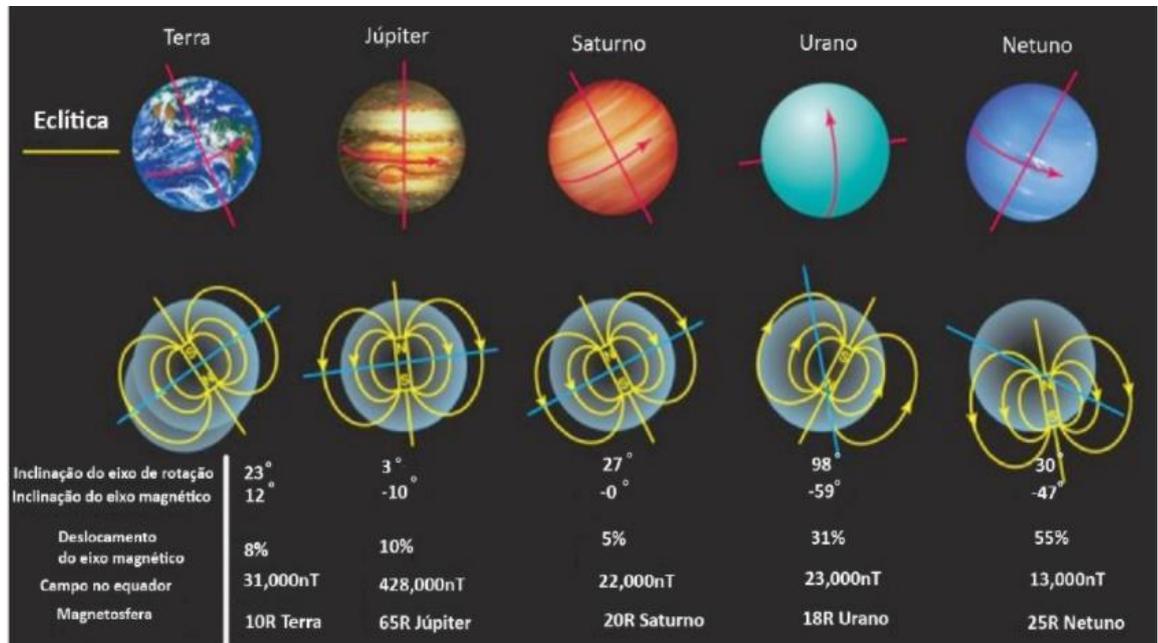


Figura 54: Campo magnético dos planetas do sistema solar cuja origem é associada ao dínamo interno<sup>57</sup>.

Fonte: Portal Astronomia no whats

<sup>57</sup> Disponível em: < <https://tookatime.files.wordpress.com/2014/11/magnetic-fields-various.jpg> >  
Acesso: 01 de Março de 2018.

Muitos corpos no universo são magneticamente ativos, o mais importante é o sol cujo campo magnético se estende por distâncias muito longas, alcançando a Terra. As manchas solares acusam o pico de atividade magnética do sol, Galileu foi o primeiro a observar as manchas solares com seu telescópio em 1609.

Quanto maior sua quantidade, maiores são as alterações na ionosfera terrestre, interferindo nas comunicações de rádio da Terra, estudos indicam que a intensidade do campo magnético nessas regiões chega a milhares de gauss.

Dados mostram que a cada 11 anos a atividade solar aumenta, e a cada 22 anos o dínamo solar provoca a inversão dos polos magnéticos do sol.

A figura 58 mostra as manchas solares vistas por Galileu há 400 anos.

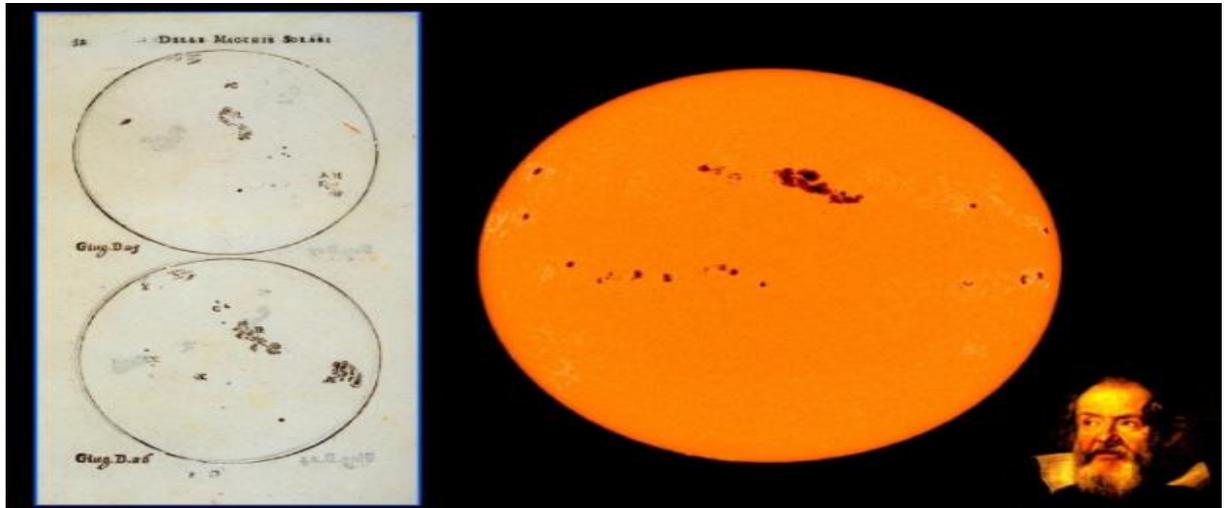


Figura 55: Galileu e as manchas solares vistas por ele em 1609<sup>58</sup>.

Fonte: Portal Slideshare

<sup>58</sup> Disponível em: <[https://www.slideshare.net/Professor\\_Marcelus/galileu-galilei-1419432](https://www.slideshare.net/Professor_Marcelus/galileu-galilei-1419432)> Acesso: 05 de Março de 2018.

Acredita-se que o mecanismo geral para manutenção do campo magnético das estrelas, são os dínamos turbulentos estelares, mais complexos que o da Terra, pois as estrelas são formadas por gases ionizados que em movimento geram o intenso campo magnético.

Estrelas de Nêutrons, ultradensas em especial as magnetares produzem campo magnético mil trilhões de vezes maiores que o da Terra foram detectadas pela primeira vez em 1979, quando uma produziu um ultra pulso de raios X, que nos dois primeiros décimos de segundos emitiu mais energia que o sol em mil anos.

Os magnetares são objetos com maior intensidade magnética que conhecemos.

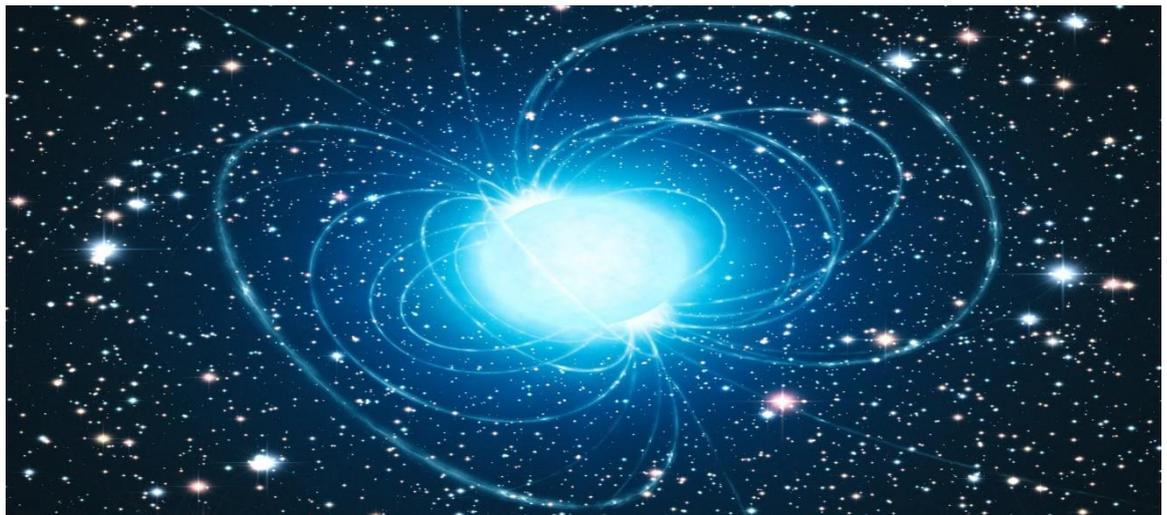


Figura 56- Magnetares: estrelas como maior campo magnético que se conhece atualmente<sup>59</sup>.

Fonte: Portal Spaceanswers

A presença de campo magnético também já foi detectada em Galáxias, acredita-se que a origem de partículas cósmicas de alta energia que incidem em nossa atmosfera é de fora da nossa galáxia, essa é uma das principais descobertas da astrofísica do século XX, a descoberta de que campos magnéticos são onipresentes no cosmo como afirmam Nelson e Medeiros (2012).

---

<sup>59</sup>Disponível em:< <https://www.spaceanswers.com/wp-content/uploads/2014/04/Magnetar.jpg>>  
Acesso: 07 de Março de 2018

Das grandes Galáxias até a menor pedrinha de magnetita, a razão do magnetismo se deve ao movimento de cargas elétricas, até mesmo dentro do átomo, Gref (2012).

No próximo capítulo trataremos do referencial teórico pedagógico que usamos para fundamentar o uso do produto educacional Terrella.

### **3. ENSINO DE ELETROMAGNETISMO NO CONTEXTO DA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA**

#### **3.1 O ensino tradicional e a crise da educação científica**

Entre os professores de ciências dissemina-se, principalmente nos últimos anos do ensino fundamental e durante o ensino médio, uma crescente insatisfação e frustração, ao comprovarem o limitado sucesso dos seus esforços docentes, atualmente ensinar se tornou um desafio para muitos docentes.

Fourez enfatiza a crise da educação científica, ressaltando que todos são atingidos por ela, os alunos, os professores de ciências, os dirigentes da economia os pais, os cidadãos, enfim toda sociedade (FOUREZ, 2003).

Neste trabalho nos concentraremos na questão pedagógica, naquilo que pode ser feito em sala de aula em termos de ensino e aprendizagem nos processos conduzidos pelo professor de forma mediadora, sendo o objetivo contribuir para melhoria do ensino de ciências, acreditando ser possível através de melhorias na prática de ensino motivar nossos alunos.

A educação de maneira geral é um ato de responsabilidade, como defende Arendt:

A educação é o ponto em que decidimos se amamos o mundo o bastante para assumirmos a responsabilidade por ele e, com tal gesto, salvá-lo da ruína que seria inevitável não fosse a renovação e a vinda dos novos e dos jovens. A educação é, também, onde decidimos se amamos os nossos jovens o bastante para não expulsá-los do nosso mundo e abandoná-las a seus próprios recursos, e tão pouco arrancar de suas mãos a oportunidade de empreender alguma coisa nova e imprevista para nós, preparando-as em vez disso com antecedência para a tarefa de renovar um mundo comum (ARENDR, 2000, p. 247,Grifo meu).

A prática pedagógica comumente utilizada pelos professores de ciências em especial a de física, são aulas expositivas onde o professor coloca o assunto no quadro negro, geralmente destacando a formulação matemática, resolvendo problemas que valorizam a matematização em detrimento da contextualização, gerando a chamada aprendizagem mecânica por parte do aluno.

Desse modo as tarefas acabam se tornando rotineiras, com escasso significado científico, ocasionando a perda de sentido do conhecimento ministrado, que não só diminui a utilidade e aplicabilidade do conteúdo, mas também o interesse e motivação do aluno.

Faz-se necessário então, uma nova estrutura educacional, que entre outras coisas, pede mudanças nas práticas pedagógicas docentes, nesse ínterim propomos o ensino de caráter construtivista, a nosso ver essa abordagem é mais adequada para o processo de ensino e aprendizagem frente às necessidades da sociedade atual. Seguiremos os pressupostos construtivistas da aprendizagem significativa de Ausubel.

A ideia principal do construtivismo é que o processo de ensino e aprendizagem não pode ser encarado como um processo de memorização sem nenhuma aplicabilidade no cotidiano do aluno. Ela se preocupa em transformar a mente do discente levando-o a se apropriar do conteúdo ministrado.

Nessa perspectiva o ensino de ciências deve mostrar sua natureza histórica e cultural, conectando o desenvolvimento da ciência com a produção tecnológica e a organização social, fazendo o aluno reconhecer o compromisso entre ciência e sociedade.

### **3.2 As dificuldades no ensino do eletromagnetismo e a proposta construtivista da experimentação modelizadora**

O ensino de física como toda educação científica enfrenta muitas dificuldades. O ensino dessa disciplina é influenciado por vários fatores a ausência da prática experimental, dependência excessiva do livro didático, método expositivo, entre outros.

Limitando-nos apenas ao processo de ensino, particularmente dos conceitos do eletromagnetismo encontramos as maiores dificuldades.

Segundo Paz:

Dentre os conteúdos de Física que apresentam um grau maior de dificuldade de aprendizagem, comparado aos demais, está o Eletromagnetismo. Os professores, de modo geral, declaram que os estudantes expressam dificuldades na aprendizagem dos fenômenos, leis e conceitos que o envolvem. (Paz, 2007, p.17)

Recaímos de novo na velha problemática da prática pedagógica tradicional, o ensino do eletromagnetismo muitas vezes é feito de forma memorística, onde os alunos decoram fórmulas e não aprendem os conceitos físicos dessa importante área do conhecimento (BRASIL, 2000).

As pesquisas apontam debates sobre a necessidade de práticas alternativas ao ensino mecânico em física, os documentos oficiais, como o PCN refletem essa preocupação:

Privilegia a teoria e a abstração, desde o primeiro momento, em detrimento de um desenvolvimento gradual da abstração que, pelo menos, parta da prática e de exemplos concretos. Enfatiza a utilização de fórmulas, em situações artificiais, desvinculando a linguagem matemática que essas fórmulas representam de seu significado físico efetivo. Insiste na solução de exercícios repetitivos, pretendendo que o aprendizado ocorra pela automatização ou memorização e não pela construção do conhecimento através das competências adquiridas (BRASIL, 2000, p. 22).

Os obstáculos para o entendimento do campo magnético e sua origem demandam uma abordagem didática que ajude a superá-las, levando a reconstrução conceitual no ensino deste importante tópico do eletromagnetismo (SAARELAINEN; et al apud FERNADES 2007, p.35).

Segundo o pesquisador da educação Driver, encontrar significado no processo de ensino aprendizagem supõe estabelecer relações (DRIVER apud FORTALEZA; LAHERA, 2006, p.22).

Para a aprendizagem significativa do conceito de geodínamo simplificado, é necessário que o aluno estabeleça relação entre o conceito de corrente elétrica e campo magnético.

De forma geral, para demonstrar a relação existente entre corrente elétrica e o campo magnético, os professores de ensino médio e superior, em sua maioria utilizam de deduções matemáticas encontradas nos livros textos de física que acabam induzindo no aluno uma concepção em que não existe nenhuma relação com conhecimentos prévios presentes na estrutura cognitiva do estudante.

Com objetivo de ajudar os alunos a estabelecer relação entre corrente elétrica e campo magnético, propomos a utilização do experimento modelizador (Terrella), numa tentativa de aproximar esse conhecimento do cotidiano deles através do conceito de geodínamo.

O uso de experimentos é defendido por vários atores como uma forma de instigar a curiosidade dos discentes e motivar seus questionamentos (MORAES, 2003).

O próprio desenvolvimento da ciência do eletromagnetismo foi extremamente dependente do aparato experimental como descrito no capítulo anterior. Oersted, Faraday, Ampère e outros desenvolveram suas atividades científicas a partir desses aparatos.

A física como ciência faz uso de hipóteses teóricas e construção de modelos para testá-las na prática. A modelização é uma construção muitas vezes provisória, sendo substituído no momento em que se mostrar inadequado para explicar um conjunto de eventos, fato ocorrido com o modelo representacional da Terra de William Gilbert que permaneceu intocável por trezentos anos, sendo substituído pelo modelo de geodínamo.

De acordo com Filho (2000) o experimento modelizador facilita a compreensão e aquisição de conhecimentos, servindo em qualquer momento do processo de ensino. A modelização pode ser utilizada em variadas situações, desde a que envolve novos saberes, ou situações particulares quando o aluno já dispõe de algum conhecimento.

Assim buscamos através do produto educacional Terrella auxiliar o estudante a visualizar o fenômeno físico de geração de campo magnético por corrente elétrica e estender esse entendimento ao nosso planeta, acreditamos que aplicado no contexto de ensino do eletromagnetismo se torna uma boa ferramenta de ensino.

### **3.3 A aprendizagem significativa de Ausubel no contexto construtivista e o experimento modelizador**

Após refletir sobre as dificuldades que o ensino de forma geral vinha enfrentando ao longo dos anos, o americano David Paul Ausubel psicólogo da educação, propõe na década de 1960 a teoria da aprendizagem significativa (TAS), em oposição ao que chamamos de aprendizagem mecânica, literal, ou decorada.

A TAS é uma proposta de ensino centrada no aluno, na forma como este aprende, sendo, portanto de caráter construtivista. De acordo com Valadares:

Dizemos que um indivíduo aprende *significativamente* quando consegue relacionar, de maneira substantiva (não literal) e não arbitrária, a nova informação com uma estrutura de conhecimento específica que faz parte integrante da sua *estrutura cognitiva* prévia. Esta é singular, idiossincrásica

e complexa, e nela constam as afirmações e os conceitos que o indivíduo previamente aprendeu, mas onde também está plasmada toda a componente afetiva do indivíduo e o resultado de todas as suas ações e vivências. (VALADARES, 2011, p.36-37)

Para Ausubel, quando o aluno recebe uma informação potencialmente significativa ela se relacionará com algum aspecto já presente na estrutura cognitiva do aluno (MOREIRA, 2010).

Essa estrutura pré-existente ele chamou de subsunçores. O subsunçor pode ser uma representação, um modelo, enfim um conhecimento prévio relevante para a aprendizagem significativa de um determinado conhecimento novo.

A aprendizagem significativa ocorre quando a nova informação ancora-se nesses subsunçores.

O esquema abaixo mostra este processo de forma resumida, conhecido como processo de assimilação significativa:

$$i + S \rightarrow i'S'$$

Sendo:

*i* – informação nova potencialmente significativa

*S* – subsunçor

*i'S'* – produto resultante do subsunçor prévio mas agora modificado *S'* e da ideia *i'* que o aluno atribui ao conhecimento novo.

Este processo de assimilação é caracterizado por dois mecanismos, a diferenciação progressiva e a reconciliação integradora.

Quando através de atividades realizadas pelo professor, ou também de forma individual pelo estudante, um dado subsunçor presente na estrutura cognitiva do aluno interage com novos conhecimentos, este adquire novos significados, ficando mais diferenciado, tendo um significado mais amplo.

Esse mecanismo de modificação e refinamento de subsunçores é conhecido por diferenciação progressiva.

A reconciliação integradora é associada a diferenças e similaridades entre os subsunçores e os novos conhecimentos, atuando nas inconsistências, resolvendo o conflito entre eles.

Caso o aluno não apresente nenhum subsunçor para atividade proposta pelo professor o ensino se dará de forma mecânica como preconiza a TAS.

Para facilitar a aprendizagem significativa, Ausubel sugeriu a utilização de materiais introdutórios, os conhecidos organizadores prévios, que atuariam com âncoras para a aprendizagem.

Os organizadores prévios podem ser um enunciado, um parágrafo, uma pergunta, uma demonstração, um texto, uma simulação, uma reportagem e até mesmo uma aula. A condição para sua aplicação é que preceda a apresentação do material de aprendizagem e que seja mais abrangente e inclusivo do que este.

Alguns estudiosos do construtivismo defendem que algumas concepções prévias dos alunos, por serem adquiridas de forma indevida geram conceitos científicos errôneos arraigados na estrutura cognitiva do aluno, podendo bloquear o processo de aprendizagem.

Gaston Bachelard chama essas concepções de obstáculos epistemológicos (BACHELARD apud FORTALEZA; LAHERA, 2006, p. 21), segundo ele causam a paralisação da construção do conhecimento científico.

No caso do Eletromagnetismo, acreditamos que as atividades experimentais potencialmente significativas contribuem para superação dos obstáculos epistemológicos, auxiliando na construção de subsunçores adequados ou na reestruturação deles, conduzindo a uma educação científica efetiva e contínua. Azevedo (2010) defende essa ideia:

No estudo do Magnetismo e do Eletromagnetismo consideramos que, havendo a aprendizagem significativa propriamente dita, as vantagens por parte dos alunos estariam na dissociação dos novos conceitos em suas ideias básicas, ficando como resultado dessa dissociação as ideias âncoras que poderão servir de subsunçores para entendimentos posteriores (Azevedo, 2010, p.69).

Concluimos então que a TAS é uma teoria nitidamente construtivista, ela descentraliza o professor e coloca o aluno como ser construtor do seu conhecimento, cabe ao professor ser um facilitador.

O uso de experimentos modelizadores pode contribuir em vários aspectos na construção do conhecimento por parte do aprendiz, resultando numa melhor compreensão da sua realidade. A sua utilização no processo ensino e aprendizagem, se constitui uma boa ferramenta, pois através dos modelos podemos proporcionar uma aprendizagem concreta e significativa para os estudantes, ajudando-os a construir seus próprios modelos mentais adequados.

De acordo com Moreira apud Parra:

É de suma importância o uso de modelos, no processo ensino - aprendizagem, pois através dos modelos podemos proporcionar uma aprendizagem concreta e significativa para nossos educandos. Os modelos mentais das pessoas podem ser deficientes em vários aspectos, talvez incluindo elementos desnecessários, errôneos ou contraditórios. No ensino, é preciso desenvolver modelos conceituais e também materiais e estratégias instrucionais que ajudem os aprendizes a construir modelos mentais adequados. (MOREIRA apud PARRA, 2014, p.6).

A proposta deste trabalho é usar a Terrella aliada ao enfoque CTS, com objetivo de ajudar os estudantes a construírem seus modelos mentais a respeito do nosso planeta.

### **3.4 A abordagem CTS e o ensino significativo**

Já discutimos anteriormente que a educação científica enfrenta dificuldades. No que se refere à prática de ensino ainda pecamos em conseguir tornar nossos alunos cidadãos bem informados, críticos do ponto de vista científico, através de uma educação integradora e contextualizada com sua realidade.

Busca-se então um ensino que faça a interligação entre ciência, produção tecnológica e organização social. A esta proposta pedagógica damos o nome de CTS.

Esta abordagem nasceu em meados do séc. XX, na Europa e nos Estados Unidos, como um movimento crítico sobre o papel da ciência e tecnologia no enfrentamento dos problemas da sociedade, ela surgiu num contexto de pós-guerra, corrida espacial e guerra fria.

Com a dissensão política entre os EUA e a ex-URSS, Os Estados Unidos fizeram grandes investimentos em projetos de ciências no ensino médio (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

A CTS aplicada à educação científica leva em consideração aspectos, econômicos, políticos, entre outros. Nessa abordagem o ensino ganha um aspecto integrador e multidisciplinar (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

Segundo Luzzi a abordagem deste movimento tem como objetivo:

O movimento CTS visa que a população tenha acesso aos conhecimentos científico-tecnológicos, assim como condições de avaliar e participar da sociedade e meio onde vivem. Nesse sentido, é preciso que o educando perceba as relações implícitas entre a ciência e a sociedade, compreendendo o desenvolvimento científico como um produto social, das necessidades criadas pelos fatores econômicos e políticos da nossa sociedade. (LUZZI, 2017, p.5)

Na visão do autor pesquisador essa proposta pedagógica tem uma ligação forte com o nosso tema de pesquisa, pois na sua essência ela apresenta um caráter multidisciplinar. Vimos que a teoria do geodínamo envolve muitas áreas da ciência, exige o conhecimento da estrutura interna da Terra e os processos físicos que nela ocorrem (geografia e geofísica), questões sobre enfraquecimento do campo magnético, inversão dos polos e magnetosfera terrestre que são questões importantes para sobrevivência dos seres humanos e de alguns animais que são guiados pelo CMT (biomagnetismo).

Na tecnologia podemos citar os satélites que são lançados ao espaço para monitorar ação do vento solar sobre o campo magnético terrestre, os softwares que são usados para simular o comportamento interno do nosso planeta e acompanhar as flutuações de corrente na ionosfera que acarreta erros em medições feitas por satélites.

Silva e Gonçalves (2014) retratam que as abordagens do CTS no ensino de física podem favorecer a assimilação significativa dos conceitos físicos pelos estudantes, por meio da discussão de vários saberes de forma interdisciplinar, as atividades interdisciplinares no ensino de Ciências são entendidas como processos favorecedores da integração dos conhecimentos científicos. Assim, elas podem ser consideradas como facilitadoras da aprendizagem significativa nas situações de ensino.

Além disso, atividades baseadas na CTS se aproximam da TAS, no quesito de ser uma alternativa a aprendizagem mecânica:

Outro ponto favorável a uma aproximação da teoria da aprendizagem significativa e a abordagem CTS é que a aprendizagem significativa é definida em oposição à aprendizagem mecânica. A aprendizagem mecânica permite explicações seguras (literais, arbitrarias), mas dificilmente compreensões. A aprendizagem significativa se dedica ao desenvolvimento de compreensões, incentivando a liberdade nas explicações dadas (explicações eventualmente errôneas do ponto de vista científico, mas que fazem sentido para a compreensão do sujeito, por exemplo). Essa também é uma ênfase do ensino CTS, propiciar compreensões por meio de discussões e troca de significados, o destaque nesse caso é que o cenário de ensino é mais complexo, diversificado e controverso. (SILVA; GONÇALVES, 2014, p.6).

Quando analisamos o desenvolvimento histórico da ciência do eletromagnetismo, destacamos que suas descobertas trouxeram grandes benefícios. Os geradores elétricos desenvolvidos por Faraday a partir do fenômeno da indução eletromagnética se constitui uma tecnologia que beneficia a sociedade até hoje, porém os temas relativos à geração de energia ganharam dimensões ambientais, como exemplo a sustentabilidade energética tema extremamente importante do ponto de vista social. Assim não podemos dissociar a ciência da tecnologia dos

temas sociais, pois desse modo estaremos passando uma imagem empobrecida dela. A busca por uma imagem correta da ciência, mais realista e menos dogmática, que interage constantemente com tecnologia e sociedade, é um dos motivos para o uso das atividades CTS, seja no ensino básico, seja no superior (BALTHAZAR; OLIVEIRA, 2010).

Conclui-se então que esta metodologia se constitui em uma ferramenta para aproximação entre a ciência e o mundo vivencial dos alunos, faremos uso dela juntamente com nosso modelo experimental dentro do contexto de ensino significativo do eletromagnetismo.

## 4. PRODUTO EDUCACIONAL TERRELLA E SUA APLICAÇÃO

A motivação para construção deste produto educacional surgiu pelo grande desejo de inserir nas minhas aulas temas relativos à astrofísica.

Contribuir para que o aluno aprenda os conceitos do eletromagnetismo de maneira significativa, ressaltando que a física está presente em tudo, desde fenômenos do dia-dia como em fenômenos do mundo celeste é um dos nossos objetivos.

O produto se constitui de dois modelos de Terrella, o primeiro se refere ao modelo que adota um ímã no interior da Terra para explicar o campo magnético terrestre. Vimos anteriormente que uma bobina percorrida por corrente elétrica em pontos afastados dela tem comportamento parecido como do ímã dipolar, assim para representar como a corrente elétrica no núcleo externo da Terra gera campo magnético, usaremos um modelo onde três bobinas ortogonais entre si são percorridas por correntes alimentadas por pilhas.

Desse modo construímos dois experimentos didáticos modelizadores do planeta Terra, passaremos agora a descrever a montagem deles.

### 4.1 Primeiro modelo: Modelo de Terrella com um ímã no seu interior

#### Lista de materiais:

- Palitos de picolé cortados com 80 mm de comprimento.
- Ímã em forma de barra de dimensões 90 mm x 20 mm x 20 mm, revestido por adesivo (Feito numa gráfica) indicando as polaridades norte e sul do ímã.
- Globo para hamster de 12 cm de diâmetro.
- Fita dupla face
- Sete bússolas

### Procedimentos de montagem:

1-Unir dois pedaços de palitos para formar uma cruz usando fita dupla face.



Figura 57-Palitos de picolé em forma de cruz.

Fonte: Arquivo pessoal

2-Adesivar o imã em forma de barra no centro dos palitos usando fita dupla face.



Figura 58: a) Imã em forma de barra b) Imã unido aos palitos com fita dupla face.

Fonte: Arquivo pessoal

3-Adesivar os palitos nas paredes internas do globo do hamster usando fita dupla face.



Figura 59: Imã e seus suportes feitos de palitos fixados no globo com fita dupla face.

Fonte: Arquivo pessoal

4-Como sugestão usar um suporte de madeira (no nosso caso feito por um marceneiro) com um furo central do mesmo diâmetro do globo de hamster e dimensões frontais 280 mm (largura) x 200 mm (altura), mas também pode ser feito de papelão.

5- Adesivar as bússolas no suporte de madeira ao redor do furo, usando fita dupla face, como sugestão pintar a parte frontal de azul com tinta de parede antes de fixar as bússolas.



Figura 60: Suporte de madeira feita por um marceneiro.

Fonte: Arquivo Pessoal



Figura 61: Modelo de Terrella com um ímã no seu interior

Fonte: Arquivo pessoal

Este modelo de Terrella é uma versão clássica do modelo histórico utilizada por William Gilbert em 1600. Nele percebemos o efeito do campo magnético de um ímã dipolar sobre bússolas provocando o alinhamento das agulhas magnéticas. Essa visualização dos efeitos magnéticos pode contribuir para redução da abstração do conceito de campo magnético.

#### 4.2 Segundo modelo: Modelo de Terrella com espiras em seu interior

Para o desenvolvimento desse produto contei com a colaboração de um ex-aluno do MNPEF Hercílio P. Cordova do polo da UFRJ, a troca de conhecimentos entre dois professores de física enriqueceu muito o trabalho, pois além de docente ele possui formação técnica em eletrônica e mecânica, suas contribuições foram valiosas na construção do modelo simplificado de geodínamo.

**Lista de materiais da estrutura interna do geodínamo simplificado numerados:**

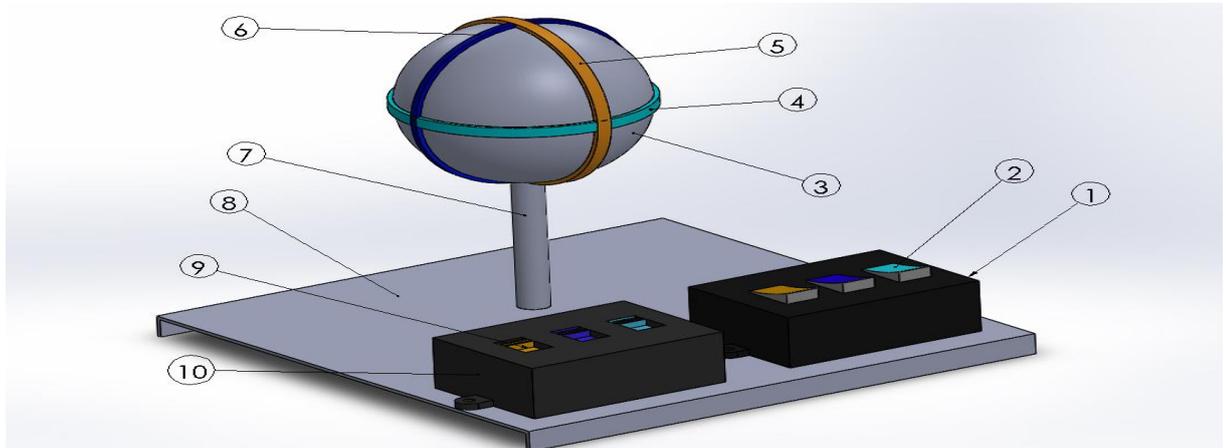


Figura 62: Bobinas de campo magnético numerada

Fonte: Hercílio Cordova

- 1- Caixa plástica do tipo patola® para cada chave liga/desliga.
- 2- Chaves de liga/desliga das bobinas. Uma chave para cada bobina.
- 3- Esfera de isopor de 75 mm de diâmetro.
- 4- Bobina equatorial.
- 5- Bobina frontal.
- 6- Bobina lateral.
- 7- Coluna de alumínio de 12 cm de altura.
- 8- Base de alumínio.
- 9- Chave de reversão H de 127/220 V. Uma chave para cada bobina.
- 10- Caixa plástica® das chaves de reversão H para alteração do sentido da corrente elétrica das bobinas.

### Processo de montagem:

1-Como base foi usada uma chapa de alumínio de 18x20 cm com 1,5mm de espessura, ela foi dobrada nas suas laterais formando as pernas da base com altura de 1 cm (Item 8 da figura anterior) .

2- Foi usada uma coluna de 3/8" de diâmetro também de alumínio, feita em tubo oco e rosqueada por dentro, nela foi feita um orifício lateral para passar a fiação da bobina.

Foram usadas 100g de fio de cobre esmaltado do tipo AWG32 com ele construímos as bobinas cada uma tendo 50 voltas ao redor da esfera de isopor de 75 mm a coluna foi colada na esfera de isopor com resina epóxi® (tipo araldite).

Para ligação elétrica entre as espiras e as chaves usamos fios finos de diversas cores. Para fixação das espiras na esfera de isopor usamos grampos escolares.

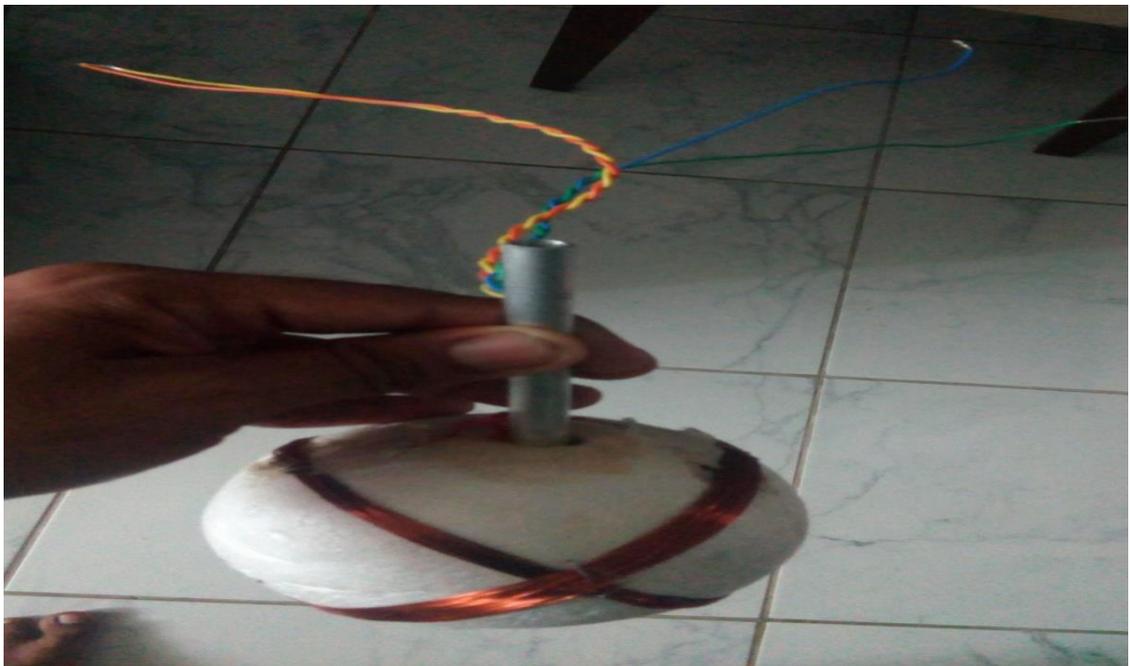


Figura 63: Coluna de alumínio 3/8" de diâmetro e 12 cm de altura colada na esfera com resina epóxi®.

3- Para fixação da coluna na base foi usado um parafuso sextavado de 5/16" x 1/2". Duas caixas plásticas patola® de 78 x 48x 26 mm foram usadas para colocar as três chaves de liga/desliga e as três chaves de reversão das correntes elétricas nas bobinas, 10 parafusos M3x6 mm do tipo cabeça de panela foram usadas para fixar as caixas plásticas na base de alumínio e as chaves de reversão na sua respectiva caixa plástica.

Três led's de cinco mm com cores diferentes (vermelho, verde e amarelo) foram fixadas junto as três chaves liga/desliga para indicar a passagem de corrente em cada bobina. A base foi furada usando broca 5/16" para fixação dos demais componentes nela.

As próximas figuras mostram a sequência de montagem e como ficou a fixação das caixas na base.

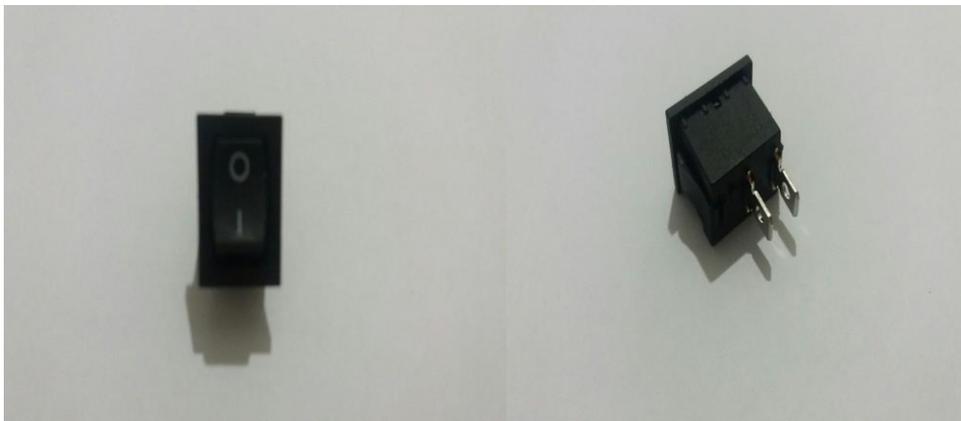


Figura 64: Chave liga/desliga

Fonte: Arquivo pessoal



Figura 65: Chave de reversão H de 127/220 V

Fonte: Arquivo pessoal

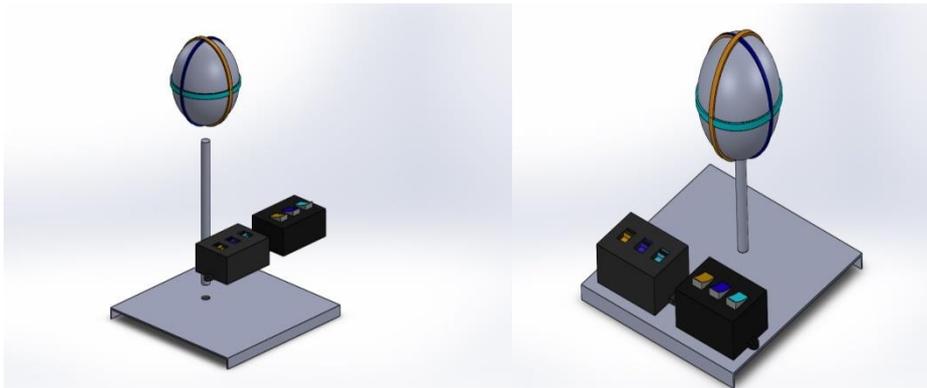


Figura 66: Fixação das caixas patola e da haste de alumínio na base.

Fonte: Hercílio Cordova



**Figura 67: Imagem real caixas patola fixa na base de alumínio.**

Fonte: Arquivo pessoal



**Figura 68: Parte de baixo da base de alumínio e os parafusos usados para fixar a haste**

Fonte: Arquivo pessoal

4. Usamos um globo de vidro transparente de 100 mm de diâmetro para modelar a superfície da Terra e facilitar a visualização do seu interior, para sustentação do globo fizemos três suportes de alumínio com 60 mm de altura cada um com aberturas em forma de “V” na parte superior para encaixe do globo, esses suportes foram dobrados na parte de baixo para fixação na base de alumínio usando três parafusos M3x6 mm, para adesão do globo em seus suportes usamos silicone. No fim fixamos uma bússola na parte superior do globo com fita dupla face.



Figura 69: Globo de vidro de 100 mm de diâmetro à direita o globo fixo nos suportes com silicone.

Fonte: Arquivo pessoal



Figura 70: Bobinas adesivadas com cores diferentes: verde, Vermelha e amarelo para indicação do sentido da corrente.

Fonte: Arquivo pessoal

5. Usamos quatro pilhas AA de 1.5 V (totalizando 6V) como fonte de corrente contínua (VDC) das bobinas. Abaixo está apresentado o esquema elétrico das bobinas e das chaves liga/desliga e de reversão H.



Figura 71: Fonte de alimentação: suporte para quatro pilhas AA de 1.5 V.

Fonte: Arquivo pessoal

Esquema elétrico da Terrella:

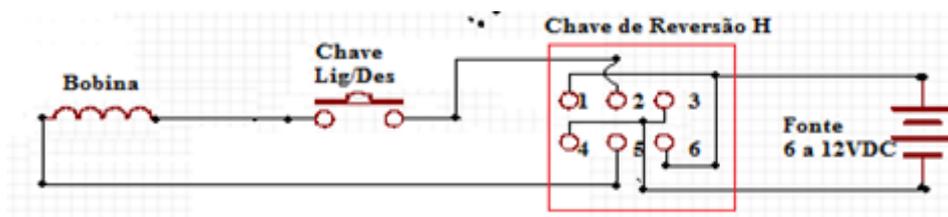


Figura 72: Esquema elétrico da Terrella.

Fonte: Hercílio Cordova

6. Nas bobinas usamos três fitas de cores diferentes (vermelho, verde e amarelo) para designar os sentidos da corrente elétrica em cada uma, simulando as correntes elétricas no interior da Terra.

Para conhecer em que sentido a corrente se move basta ligar a fonte de alimentação e observar para onde aponta o norte da bússola, pela regra da mão direita se descobre o sentido da corrente.



Figura 73: Imagem real: Modelo de Terrella (Geodínamo simplificado)

Fonte: Arquivo pessoal.

Esse modelo é fundamentado matematicamente pela lei de Biot-Savart, na qual a corrente elétrica na bobina gera um campo magnético ao redor, e seu sentido é determinado pela regra da mão direita de Ampère.

Pode-se através deste experimento demonstrar a geração do campo magnético pela corrente elétrica e o sentido do vetor campo magnético, além de explorar o conceito de campo magnético resultante quando estiverem circulando simultaneamente correntes em duas bobinas diferentes.



Figura 74: a) Alinhamento da bússola de acordo com a corrente elétrica na bobina verde b) Invertendo-se a corrente a bússola se orienta no sentido contrário

Fonte: Arquivo pessoal

### 4.3 Procedimentos metodológicos

Fundamentamos esta pesquisa nos conceitos da aprendizagem significativa de Ausubel (TAS), fazendo uso dos organizadores prévios. Esses atuam facilitando a aprendizagem significativa dos estudantes (MOREIRA, 2009).

Como organizadores prévios serão utilizados vídeos e maquetes como recursos instrucionais, com a intenção de, respectivamente, ativar e organizar a estrutura cognitiva do aluno para o assunto que será estudado.

Pelo fato da TAS ser de caráter construtivista, levamos em consideração também os estudos de outros autores, como Bachelard que defende a ideia de que alguns conhecimentos prévios dos alunos podem servir de obstáculos para aprendizagem significativa, pesquisadores do construtivismo defendem que uma aprendizagem de significados resulta de uma reestruturação das concepções prévias dos alunos, por isso a importância de se conhecer os conhecimentos já trazidos pelos alunos.

Esta tem sido a perspectiva geral da nossa metodologia, a crença que uma educação científica significativa fica definida pelas transformações conceituais que acontecem no indivíduo como produto do saber que lhe é transmitido.

O público alvo ao qual se destina os resultados desta pesquisa são estudantes de licenciatura das ciências da natureza, professores de ensino médio que necessitem trabalhar o conceito de campo magnético no seu conteúdo programático.

A aplicação do produto foi realizada de modo qualitativo, evidenciando o fenômeno da geração do campo magnético terrestre pelo movimento fluido do seu núcleo externo, sendo que em nenhum momento foram usadas equações matemáticas junto aos estudantes, pois no ensino tradicional os professores costumam evidenciar os elementos importantes de um dado fenômeno através de fórmulas, o que quase sempre produz a aprendizagem mecânica.

Ao lecionar para turmas de 3º ano do ensino médio percebi que no caso da corrente elétrica que aparece nas expressões do campo magnético produzido por um fio ou espira, os alunos exibem dificuldades em fazer a relação entre um elemento da equação (corrente elétrica) e o fenômeno físico (campo magnético), muitas vezes pela ausência desses subsunçores em suas estruturas cognitivas, resultando numa aprendizagem memorística.

O objetivo é ensinar significativamente o conceito de geodínamo, para tanto é preciso que os alunos apresentem conhecimentos prévios sobre campo magnético e corrente elétrica e, além disso, sejam capazes de estabelecer relações entre esses dois conceitos.

Sendo assim no contexto do ensino significativo do eletromagnetismo foi realizada uma aula do mesmo conteúdo em duas turmas diferentes, a primeira foi uma turma de 3º ensino médio do curso técnico integrado em informática do IFPE campus Garanhuns-PE.

A segunda turma faz parte do projeto de extensão “DESVENDANDO O CÉU AUSTRAL” da UFRPE em parceria com a UFPE sob a coordenação do prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda (meu orientador).

Acreditamos que a análise dos dados sobre a aplicação da Terrella em turmas tão distintas nos proporcionará uma visão mais precisa sobre como este produto educacional pode auxiliar ou não no ensino significativo do conceito basilar do eletromagnetismo o campo magnético.

Usamos como base pedagógica orientadora a abordagem CTS, inicialmente através de uma reportagem sobre os perigos da tempestade magnética, seguida de uma aula Temática com o tema: “Tempestades magnéticas e o escudo protetor da Terra”, sendo um tema atual, atrativo e com grande aplicação do conteúdo a ser ensinado sobre o campo magnético e sua origem.

O tema segue o pressuposto de organizador prévio de Ausubel cumprindo o papel de ser mais abrangente e inclusivo do que o material de aprendizagem contido nos livros didáticos.

Ele permite explorar aspectos científicos e tecnológicos quanto sociais e ambientais, dos quais destacamos o vento solar e a estrutura da Terra (aspectos científicos), o papel protetor do campo magnético terrestre que influencia os aspectos tecnológicos, ambientais e até sociais.

Nesta pesquisa, estabeleceu-se a hipótese que a Terrella contribui para o ensino significativo do eletromagnetismo, no sentido de atuar como elemento pedagógico fazendo a ligação entre aquilo que o aprendiz já sabe e o que ele precisa saber, ou seja, atua no processo de ancoragem entre os subsunçores presentes na estrutura cognitiva do aprendiz e o novo conhecimento (geodínamo).

Os quadros abaixo apresentam os quatro momentos da sequência metodológica utilizada.

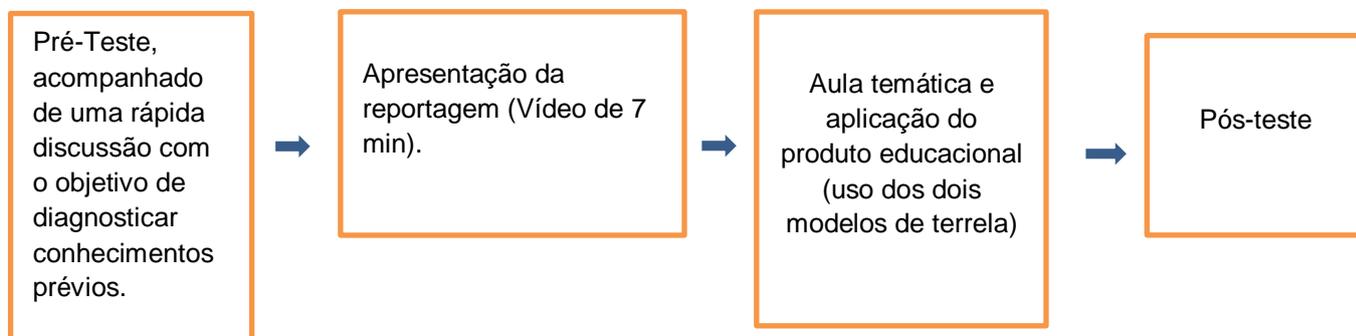


Figura 75: Etapas da metodologia adotada para execução de atividades.

Fonte: Elaboração própria

#### 4.3.1 Pré- Teste e discussão para levantamento de conhecimentos prévios

No primeiro momento foi realizado um pré-teste contendo 10 questões (seis discursivas e quatro de múltipla escolha) cujo modelo está no Apêndice B.

Os alunos foram instruídos a resolver as questões de maneira mais objetiva possível, as questões versavam sobre campo magnético, ímãs, bússolas, corrente elétrica, dínamo, campo magnético terrestre e sua origem, influência do campo magnético terrestre no aspecto tecnológico e ambiental, e sobre a presença ou não do campo magnético em outros astros como a lua.

O objetivo desse questionário é obter informações sobre os conhecimentos prévios dos alunos a respeito do campo magnético, corrente elétrica, dínamo e geodínamo.

Após o recolhimento do questionário, foram apresentadas duas maquetes, uma representando a Terra e suas linhas de campo (magnetosfera terrestre) sem a influência magnética do sol e outra com a influência do vento solar. O objetivo era levantar uma rápida discussão mediada pelo professor com objetivo de diagnosticar conhecimentos prévios dos alunos.



Figura 76: Maquetes utilizadas

Fonte: Arquivo pessoal

### **TURMA 01: 3º ano do ensino médio integrado informática**

Nessa turma a intervenção pedagógica foi realizada com 13 estudantes (N=13) do ensino médio integrado em informática do IFPE do município de Garanhuns na região Agreste de Pernambuco no dia 10/10/2017 das 17h10min às 18h50min, A duração total foi de duas horas aulas o que corresponde a 01h40min.

Depois da aplicação do pré-teste foram apresentadas as duas maquetes, foi perguntado a eles se reconheciam o significado físico daqueles desenhos, a maioria informou que era o campo de gravidade da Terra, para o segundo desenho eles responderam que o sol influenciava a gravidade da Terra.

Como resultado dessa etapa nesta turma foi diagnosticado que os alunos não possuíam conhecimentos prévios sobre as linhas de campo magnético da Terra, nunca ouviram falar de magnetosfera, e não sabiam dizer com precisão como o campo magnético da Terra era gerado e desconheciam o termo geodínamo.

## **TURMA 02: Turma do curso de extensão desvendando o céu austral da UFRPE em parceria com a UFPE**

Esta turma era muito heterogênea, sendo formada por curiosos da astronomia, estudante, profissionais de diversas áreas incluindo professores, donas de casa, alunos de ensino médio e até crianças. As aulas ocorrem aos sábados no período da tarde tendo alta procura pelas pessoas. Assim cumpre-se uma das características do ensino significativo o interesse dos alunos. A intervenção nessa turma ocorreu no sábado dia 17/03/2018 no período das 15 h às 17h, os questionários foram respondidos por 35 pessoas (N=35).

Findando o pré-teste seguimos o mesmo procedimento da turma anterior, foram apresentadas as duas maquetes e os alunos foram indagados sobre o que significava as linhas ao redor do planeta e como eram geradas.

Como resultado dessa etapa, nessa turma foi diagnosticado que alguns alunos possuíam conhecimentos prévios sobre as linhas de campo magnético da Terra, outros por serem estudantes de geologia e professores do ensino médio conheciam sobre a magnetosfera, mas alguns não sabiam dizer com precisão como o campo da Terra era gerado e boa parte desconhecia o termo geodínamo.

### **4.3.2 Utilização da abordagem CTS: Exibição da reportagem**

No segundo momento utilizamos um vídeo<sup>60</sup> curto sobre uma reportagem da rede Record de televisão alertando sobre o perigo das tempestades magnéticas vindas do sol. A função do vídeo era despertar a curiosidade dos alunos, atuando como organizador prévio, além de promover a abordagem CTS junto aos estudantes. Abaixo faremos a transcrição dos pontos mais relevantes da reportagem:

---

<sup>60</sup> Disponível em: [https://www.youtube.com/watch?v=n\\_hlusi\\_GBg](https://www.youtube.com/watch?v=n_hlusi_GBg) acesso em 26/03/2018. Refere-se a uma reportagem do programa domingo espetacular que foi transmitida no dia 23/03/2013.

A reportagem: O perigo das tempestades magnéticas, exibida pela rede Record, faz um alerta sobre os perigos para a vida em nosso planeta caso o sol envie uma violenta tempestade de partículas eletricamente carregadas em direção a Terra. Acontecimentos do passado como a queima de telégrafos nos EUA em 1859 e o blecaute que deixou seis milhões de canadenses sem energia em 1989 demonstram o perigo dessas tempestades solares. Pesquisadores entrevistados citaram o ciclo de aumento da atividade solar a cada 11 anos, associando a intensidade da tempestade ao número de manchas solares. Eles alertam que tais tempestades podem queimar transformadores elétricos deixando continentes sem energia por até um mês, o que causaria danos à economia e um verdadeiro caos social prejudicando as redes de comunicação, como a internet. Atualmente satélites monitoram as atividades solar repassando os dados para hidrelétricas e setores de telecomunicações. A reportagem também mostra um jovem alarmista americano se precavendo estocando alimentos e formando um kit de sobrevivência para situações como esta.

Esta abordagem prepara o terreno para a aprendizagem significativa do conceito do campo magnético terrestre e sua origem (Geodínamo), atuando como escudo protetor das tempestades solares, além de aproximar a astrofísica ao mundo vivencial dos alunos.

O comportamento das duas turmas nessa etapa foi semelhante, todos prestavam muita atenção, percebemos que o vídeo impressionou muito os alunos justamente por envolver fenômenos espaciais e a vida aqui na Terra. As imagens mostram a exibição da reportagem nas duas turmas.

Turma 01- Alunos do 3º ano do ensino médio integrado informática.



Figura 77: Exibição da reportagem na primeira turma.

Fonte: Arquivo pessoal

Turma 02- Projeto de extensão UFRPE/UFPE: Desvendando o céu austral.



Figura 78: Exibição da reportagem na segunda turma.

Fonte: Arquivo pessoal

#### **4.3.3 Aula temática com utilização da Terrella e aplicação do pós-teste**

No terceiro momento foi ministrada uma aula temática usando Power point<sup>61</sup>sobre o seguinte tema:

#### **“TEMPESTADES MAGNÉTICAS E O ESCUDO PROTETOR DA TERRA”**

#### **CARGA-HORÁRIA:**

2 a 4 h/a

#### **PÚBLICO ALVO:**

Alunos do 3º ano ensino médio, licenciatura em física e áreas afins, turmas em que se precise trabalhar o conceito de campo magnético.

---

<sup>61</sup>Modelo de Power point usado na aula, disponível em:

<https://drive.google.com/file/d/1EC8Y8nellxXG7en2MixD0chrt8J0xtal/view?usp=sharing>

## **OBJETIVO GERAL**

Comprovar a geração de campo magnético em espiras através de corrente elétrica, fazendo uma ponte entre esse conhecimento e o campo magnético terrestre através da teoria do geodínamo, contribuindo para aprendizagem significativa do conceito de campo magnético e sua relação com a corrente elétrica.

## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Ajudar os alunos a se situarem diante de uma situação ou problema concreto, reconhecendo a natureza dos fenômenos envolvidos, situando-os no conjunto de fenômenos da física e identificar as grandezas relevantes em cada caso.
- ✓ Interpretar e fazer uso de modelos explicativos, reconhecendo suas condições de aplicação.
- ✓ Promover a aprendizagem significativa do conceito de campo magnético e do geodínamo, levando o aluno a compreender o desenvolvimento histórico dos modelos físicos para dimensionar corretamente os modelos atuais, sem dogmatismo ou certezas definitivas.

## **RECURSOS DIDÁTICOS**

- ✓ Data show/computador e Power point
- ✓ Quadro e giz/pincel
- ✓ Cartazes ou maquetes feitas pelo professor.
- ✓ Os dois modelos de Terrella
- ✓ Bússolas e ímãs

A aula seguiu novamente o enfoque CTS relacionando os temas ciência, tecnologia e sociedade. Nela foram apresentadas inicialmente as propriedades dos ímãs e o funcionamento das bússolas.

O conceito de campo foi introduzido de forma comparativa entre o campo gravitacional, elétrico e magnético, onde foi demonstrada a importância das linhas de campo introduzidas por Faraday.

O aspecto histórico dos experimentos foi ressaltado, a Terrella de William Gilbert e o experimento de Oersted foram então utilizados. Em particular o modelo de Gilbert demonstrou o caráter provisório dos modelos científicos, o conhecimento que a Terra não pode ser um ímã segundo o modelo clássico por causa das altas temperaturas em seu interior, causou certa surpresa nos alunos.

A parte final da aula embasada no conhecimento que a corrente elétrica gera campo magnético, aliada ao entendimento da estrutura interna da Terra buscou fazer a ancoragem do novo conhecimento: A Terra gera campo magnético através de correntes elétricas em seu interior.

Também foi destacado o efeito protetor do campo magnético terrestre, os cinturões de Van Allen, o efeito das correntes elétricas da ionosfera nas telecomunicações, além do efeito destruidor do sol se a Terra perdesse sua magnetosfera.

A aula foi finalizada ao se ressaltar que o campo magnético é um ingrediente universal presente em outros planetas, estrelas e galáxias, fato já detectado por satélites. Tais tópicos fizeram a ponte entre os três aspectos da abordagem CTS.

O ponto alto desse momento foi a interação dos alunos com os dois modelos de Terrella.



Figura 79: Apresentação da Terrella e a interação dos alunos

Fonte: Arquivo pessoal

O que se notou foi a curiosidade e concentração dos estudantes ao interagirem com os modelos, meu papel como professor foi de mediador respondendo as perguntas, a maioria das indagações dos alunos eram como os modelos funcionavam, quando eles viram os ponteiros se alinhando ao redor do ímã e também por ação da corrente elétrica eles ficaram bastante surpresos.

O momento da aplicação da Terrella foi usado para reforçar com os estudantes a teoria de Gilbert e a teoria do geodínamo reforçando que os modelos podem ser substituídos por outros e que não há na ciência um modelo definitivo. Também se buscou através do produto educacional a superação das dificuldades corriqueiras no processo de ensino e aprendizagem do conceito de campo magnético advindas da abstração da sua relação com a corrente elétrica, particularmente a visualização da bússola se movendo quando passava corrente elétrica na espira e associação deste conhecimento a corrente elétrica no núcleo da Terra os impressionou muito.

O ensino tradicional (mecânico) faz uso de figuras estáticas no quadro e modelos matemáticos, que não ajudam na compreensão da dinâmica desses fenômenos. Isso ocasiona problemas na assimilação do conceito de campo magnético, exigindo um esforço de abstração desmotivando o aluno, pois ele tende a manter o foco e atenção em algo mais palpável e visível.

Para finalizar aplicamos o pós-teste, repetindo o questionário original para verificação ou não da assimilação dos novos conceitos após a intervenção pedagógica, nele adicionamos ao final um espaço para registro da opinião do estudante se nosso produto educacional contribuiu para uma nova visão a respeito do nosso planeta.

## 5. RESULTADOS DO PRÉ-TESTE/ PÓS-TESTE E SUA ANÁLISE

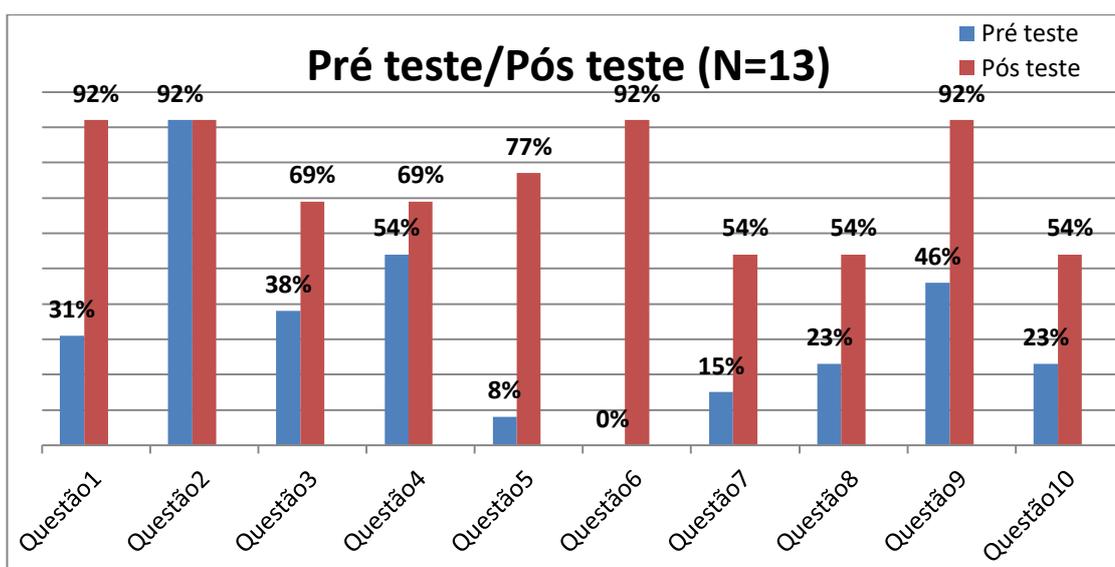
O questionário constituiu nossa maior fonte de informação sobre os conhecimentos prévios dos alunos, foi elaborado com seis questões discursivas e quatro de múltipla escolha ele se encontra no Apêndice B desta dissertação.

As questões discursivas nortearam nossa pesquisa sobre subsunçores ou ausência deles na estrutura cognitiva dos estudantes relativos aos conceitos de campo magnético e corrente elétrica, além de avaliarem o estabelecimento de relações entre estes dois conceitos.

As respostas a essas questões foram comparadas com as teorias aceitas cientificamente, sendo avaliadas como corretas ou aceitáveis se a ideia central se aproximar dos conceitos científicos estabelecidos atualmente.

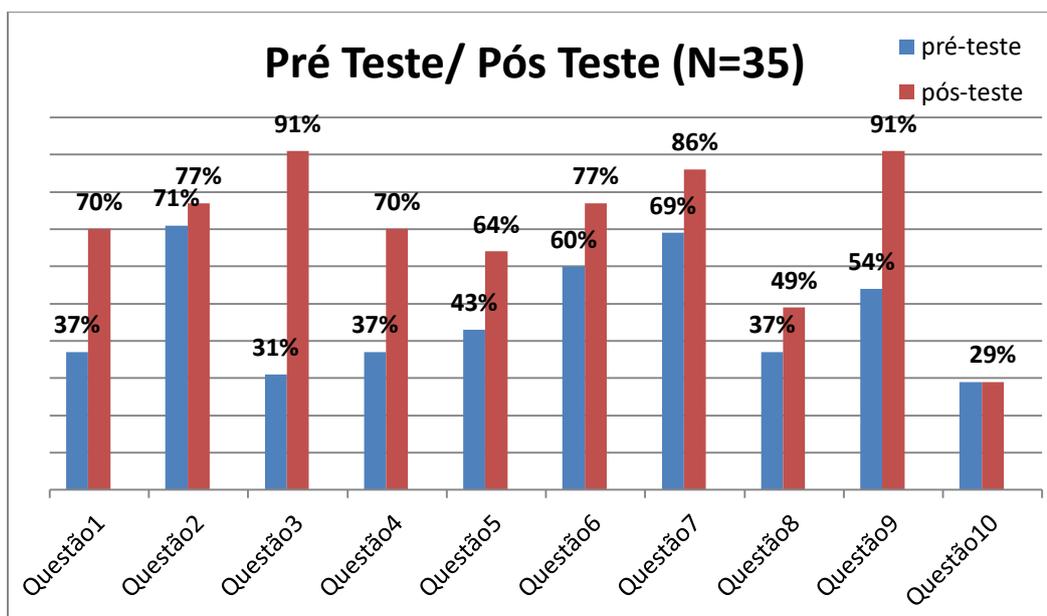
Resumiremos os dados comparativos do pré-teste/pós-teste para o número de estudantes que acertaram cada questão na forma percentual nos gráficos das duas turmas:

Gráfico 1: Comparativo Pré-teste/Pós-teste da turma 01



Fonte: Elaboração própria

Gráfico 2: Comparativo: Pré-teste/Pós-teste da turma 02



Fonte: Elaboração Própria

As respostas do pós-teste comparadas com o pré-teste, permitiram verificar que em geral os alunos assimilaram bem o conceito de campo magnético e sua relação com a corrente elétrica.

No caso específico de relacionar o campo magnético terrestre a corrente elétrica os resultados foram satisfatórios, o que comprova que a Terrella aliada à abordagem CTS atingiu o fim proposto de servir como estratégia para o ensino significativo da base teórica do eletromagnetismo, a geração de campo magnético através da corrente elétrica.

As respostas das questões discursivas para a maioria deles mostraram a modificação dos seus pré-conceitos, que foram substituídos por ideias mais relevantes e estáveis, observadas nas escritas dos estudantes, que adquiriram mais propriedade, mais firmeza e clareza de raciocínio.

Na questão de fontes de campo magnético muitos citaram cargas elétricas e objetos com grande massa com a Terra, por onde se conclui que eles entendem que

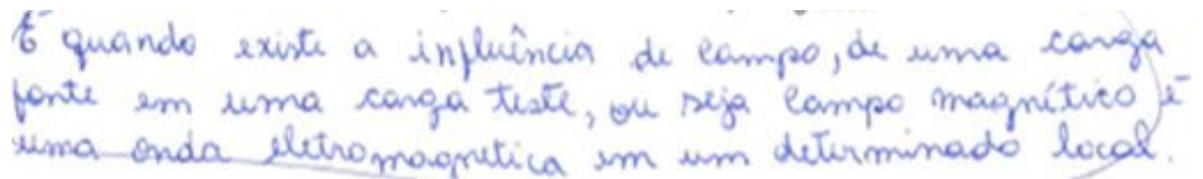
alguns objetos emitem campo, mas confundem por que tipos de objetos são emitidos.

A última questão versando sobre campo magnético na lua e o comportamento da bússola na superfície lunar foi a que eles sentiram mais dificuldades, esta precisa ser trabalhada com mais tempo.

A primeira questão, que tratava sobre o entendimento dos estudantes a respeito do campo magnético e sua origem teve grande importância para esta pesquisa.

Assim foram separadas respostas de dois alunos, um de cada turma, que serão identificados como alunos A e B.

Aluno A:

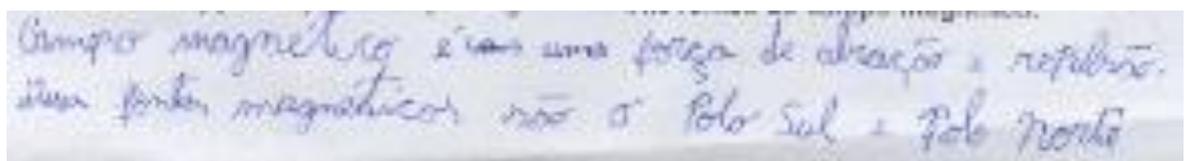


É quando existe a influência de campo, de uma carga fonte em uma carga teste, ou seja campo magnético é uma onda eletromagnética em um determinado local.

Transcrição:

“É quando existe a influência de campo, de uma carga fonte em uma carga teste, ou seja campo magnético é uma onda eletromagnética em um determinado local”

Aluno B:



Campo magnético é uma força de atração e repulsão. Algumas fontes magnéticas são o Polo Sul e Polo Norte.

Transcrição:

“campo magnético é uma força de atração e repulsão. Algumas fontes magnéticas são o polo sul e polo norte”.

Pelas respostas percebe-se a dificuldade de conceituar o campo magnético e reconhecer suas fontes, essa dificuldade foi observada na maioria dos estudantes.

Para efeito de comparação após o pós-teste separamos as respostas dos mesmos alunos:

Aluno A

1) Na sua concepção o que é campo magnético? Cite fontes de campo magnético.  
 É um agente invisível transmissor de força a distância

“É um agente invisível transmissor de força a distância”.

Aluno B

Campo que protege a Terra. A corrente elétrica gera um campo magnético

“Campo que protege a Terra. A corrente elétrica gera um campo magnético”.

As respostas acima nos leva a concluir que se atingiu através da metodologia adotada um melhor nível de formulação dos conceitos, superando-se em geral, a persistente confusão entre os conceitos de campo elétrico, campo magnético, campo gravitacional e suas fontes.

Vale a pena ressaltar que após a intervenção alguns alunos ainda apresentaram confusão entre os tipos de campos e suas fontes, afirmando que a massa da Terra emitia campo magnético, fazendo confusão entre energia magnética e campo magnético. Algumas dificuldades conceituais são difíceis de ser superadas

e demandam outras atividades que reforcem o conteúdo conforme Fernandes (2015).

Porém para maioria dos estudantes os resultados demonstraram que durante o processo ocorreu a diferenciação progressiva e a reconciliação integrativa, ajudando na superação dos conceitos conflitantes que causavam confusão no entendimento deles sobre campo magnético.

A principal contribuição da Terrella foi de ajudar os estudantes a estabelecer relações entre o campo magnético terrestre e as correntes elétricas no interior do planeta (teoria do geodínamo).

Outro fator importante foi a motivação dos alunos durante as aulas, o fato de poder compreender mais sobre seu mundo, reconhecer que somos protegidos pelo campo magnético constantemente, trouxe o conteúdo para o mundo vivencial deles.

A interação com os dois modelos de Terrella ajudou na construção de um modelo mental coerente com as teorias científicas, em especial, a observação de que os modelos científicos não são eternos ou definitivos, sendo substituídos quando se mostrarem inadequados.

Os alunos adoraram a aula e teceram vários elogios, afirmando que aprenderam bastante e que passariam a enxergar o mundo com outros olhos. Todas as atividades foram bem recebidas pelos estudantes nas duas turmas.

Para registro das observações foi adicionada uma última pergunta no pós-teste com intuito de avaliar o impacto do produto no aprendizado deles, nas palavras dos alunos:

Aluno C:

Comente em poucas palavras, qual a sua visão do planeta terra depois do contato com o nosso experimento terrela

A Terra não pode ser um grande ímã como Willian Gilbert acreditava pois, ímãs não suportam superaquecimento, eles perdem seu valor.

Transcrição:

“A Terra não pode ser um grande ímã como Willian Gilbert acreditava, pois, ímãs não suportam superaquecimento, eles perdem seu valor”.

Aluno D:

O experimento ajudou a observar melhor o funcionamento do campo magnético da Terra.

Transcrição:

“O experimento ajudou a observar melhor o funcionamento do campo magnético da Terra”

Deste modo podemos inferir que os objetivos estabelecidos na aula temática foram alcançados de forma satisfatória, levando os alunos em sua maioria a compreenderem o desenvolvimento histórico dos modelos físicos e confrontá-los com os modelos atuais no que diz respeito à geração do campo magnético, sem dogmatismo ou certezas definitivas.

Durante a manipulação dos modelos foi relatado por boa parte dos estudantes a absorção do conhecimento que a Terra se comporta como uma grade ímã e que a teoria atual embora ainda não aceita totalmente no meio científico associa este campo a correntes elétricas presentes no núcleo terrestre para eles este conhecimento era totalmente novo e surpreendente.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho nasceu do grande desejo do professor autor da pesquisa em contribuir para melhoria do ensino de física no Brasil.

Inserir temas relativos à astrofísica como o campo magnético que está presente em variados astros deste imenso universo, tentando aproximar o conhecimento do eletromagnetismo ao mundo vivencial dos alunos foi o ponto alto deste projeto.

A satisfação se tornou completa em ter contemplado o entusiasmo dos alunos durante as atividades desenvolvidas, descobrir o campo magnético como um escudo protetor de radiações vindas do espaço deixou a maioria deles fascinados. Muitos afirmaram que viriam o planeta de outra maneira depois do contato com o produto educacional, esse tipo de entendimento é uma das metas que se busca na educação científica.

Atuando como professor de física há 14 anos tenho presenciado de perto as dificuldades que os alunos apresentam ao estudar temas relacionados ao eletromagnetismo, nem sempre é fácil encontrar materiais que auxiliem na diminuição da abstração que esses conteúdos carregam. O produto educacional Terrella auxilia em tal função.

Nas duas turmas em que o produto educacional foi utilizado, verificaram-se elementos da aprendizagem significativa através da avaliação das atividades. Alguns alunos não reconheceram a Terra como fonte de campo magnético num primeiro momento, para estes os organizadores prévios (reportagem exibida e maquetes utilizadas) facilitaram a aquisição desse conhecimento prévio.

Dessa forma, a ideia mais inclusiva (Terra como fonte de campo magnético) serviu de ancoragem para a nova ideia: Corrente elétrica gerando campo magnético terrestre, o enfoque CTS preparou o terreno para que eles adquirissem conhecimentos sobre a origem do campo magnético terrestre.

A dissertação apresentada teve como objetivo explicar acerca da abordagem experimental modelizadora do nosso planeta, sobre o fenômeno básico que fundamenta a teoria do eletromagnetismo a geração de campo magnético através da corrente elétrica.

Para tanto foi tomada como base a teoria do geodínamo, teoria esta que ainda não está totalmente estabelecida, porém é o modelo defendido por vários cientistas para explicar a geração do campo magnético terrestre.

A pesquisa também permitiu um passeio pela história da ciência, vários cientistas de renome foram citados, com destaque para Willian Gilbert cuja definição de Terrella inspirou este trabalho.

No entanto nos concentramos num modelo simplificado de geodínamo, que pode ser pensado como base para um futuro modelo, mais completo, que não só envolva o conceito de campo magnético, mas também os conceitos de força magnética e de indução eletromagnética. Pretendemos dar continuidade a este estudo.

Sendo assim concluímos que a Terrella usada num contexto de aprendizagem significativa do eletromagnetismo se mostrou uma interessante ferramenta de ensino e a abordagem CTS potencializa o uso do produto educacional.

## REFERÊNCIAS

ALBARELLI, Daniel Seabra Nogueira Alves; LEITE, Emilson Pereira. **Um estudo dos modelos de geração interna do campo geomagnético**. 2016. Disponível em: <[https://www.ige.unicamp.br/Terraedidatica/v12\\_3/PDF12\\_3/Td-123-3.pdf](https://www.ige.unicamp.br/Terraedidatica/v12_3/PDF12_3/Td-123-3.pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2018.

ALVES FILHO, Jose de Pinho. **Atividades experimentais: do método à prática construtivista**. 2000. 302 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ensino de Ciências Naturais, Centro de ciências da Educação, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2000. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/123909/mod\\_resource/content/0/tese\\_\\_capitulo\\_1\\_historico\\_dos\\_projetos.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/123909/mod_resource/content/0/tese__capitulo_1_historico_dos_projetos.pdf)> Acesso em: 20 maio 2018.

AMBRÓSIO, Flávio. **Campo magnético no interior de espiras e bobinas**. 2016. Centro de Ensino Médio Setor Leste. Disponível em: <[http://rdaprendizagem.net/cursos/pluginfile.php/571/mod\\_resource/content/2/biot-savart-05-06-16.pdf](http://rdaprendizagem.net/cursos/pluginfile.php/571/mod_resource/content/2/biot-savart-05-06-16.pdf)>. Acesso em: 12 jun. 2018.

ANDRADE NETO, A. V. **O conceito de campo, as equações de Maxwell e o mensageiro do outono**. 2006. Caderno de física da Universidade Federal do Espírito Santo 04 (01 e 02): 23-39. Disponível em: <<http://dfis.uefs.br/caderno/vol4n12/Neto.pdf>>. Acesso em: 20 maio 2018.

ARENDR, Hannah. **Entre o passado e o futuro**. São Paulo: Perspectiva, 2000 p.247.

AZEVEDO, Roberto Luiz de. **UTILIZAÇÃO DE ORGANIZADORES PRÉVIOS PARA APRENDIZAGEM SIGNIFICATIVA DO MAGNETISMO E DO ELETROMAGNETISMO**. 2010. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Programa de Mestrado Profissionalizante em Ensino de Ciências e Matemática,

Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <[http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EnCiMat\\_AevedoRL\\_1.pdf](http://www.biblioteca.pucminas.br/teses/EnCiMat_AevedoRL_1.pdf)>. Acesso em: 02 mar. 2019.

BALTHAZAR, Wager; OLIVEIRA, Alexandre. **Partículas elementares no ensino médio uma abordagem a partir do LHC**. Rio de Janeiro: Livraria da física, 2010. 65 p. (Coleção tópicos de física).

BAEYER, Hans. **A física e o nosso mundo: Como entender fenômenos e mistérios através da física**. Rio de Janeiro: Campus, 2004. p.98.

BRANCO, Pércio de Moraes. **Magnetismo Terrestre**. 2015. CPRM. Disponível em: <<http://www.cprm.gov.br/publique/Redes-Institucionais/Rede-de-Bibliotecas---Rede-Ametista/Canal-Escola/Magnetismo-Terrestre-2623.html>>. Acesso em: 20 fev. 2018.

BRASIL. **Parâmetros Curriculares Nacionais (Ensino Médio) (PCNEM)**: Parte III: Ciências da Natureza: Matemática e sua tecnologias. Brasília: MEC, 2000.p.22.

CALÇADA, Caio Sérgio; SAMPAIO, José Luiz. **Física Clássica: Eletricidade**. 2. ed. São Paulo: Atual, 1998. p.456-457. (Volume 5).

CHAVES, José; et al. **As dificuldades de aprendizagem no ensino de matemática e física dos alunos do 2º ano do ensino médio**. 2016. III congresso interacional das licenciaturas. Disponível em: <<http://cointer-pdvl.com.br/wp-content/uploads/2017/01/AS-DIFICULDADES-DE-APRENDIZAGEM-NO-ENSINO-DE-MATEMÁTICA-E-FÍSICA-DOS-ALUNOS-DO-2º-ANO-DO-ENSINO-MÉDIO.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2018.

CONSALTER, Daniel Martelozo. **Motor de Curie**. 2006. IFGW-UNICAMP. Disponível em: <[https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530\\_F590\\_F690\\_F809\\_F895/F809/F809\\_sem2\\_2006/DanielM\\_FauthRF2.pdf](https://www.ifi.unicamp.br/~lunazzi/F530_F590_F690_F809_F895/F809/F809_sem2_2006/DanielM_FauthRF2.pdf)>. Acesso em: 29 jan. 2018.

COSTA, Luciano Gonsalves; BARROS, Marcelo Alves. **O ensino da física no Brasil: Problemas e desafios**. 2015. Disponível em:

<[http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042\\_8347.pdf](http://educere.bruc.com.br/arquivo/pdf2015/21042_8347.pdf)>. Acesso em: 16 mar. 2018.

FERRARO, Nicolau Gilberto. **Força magnética**. 2016. Blog Fundamentos da física.

Disponível em: <<http://osfundamentosdafisica.blogspot.com/2016/11/cursos-do-blog-eletricidade.html>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

FERNANDES, José. **Balança de ampère-faraday: uma estratégia para discutir campo magnético e força magnética**. 2015. 132f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Física, Física, Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2015. Disponível em: <[http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10592/1/DISSERTAÇÃO\\_Balança de Ampère-Faraday uma estratégia para discutir campo magnético e força magnética.pdf](http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/10592/1/DISSERTAÇÃO_Balança%20de%20Ampère-Faraday%20uma%20estratégia%20para%20discutir%20campo%20magnético%20e%20força%20magnética.pdf)>. Acesso em: 20 maio 2018.

FOUREZ, G. **Crise no Ensino de Ciências? Investigações em Ensino de Ciências**. v. 8, n. 2, p. 109-123, 2003.

FRANCO, Deborah S.; ROCHA, Wagner D. **Magnetismo Terrestre: Um Laboratório Natural**. 2016. Ufjf. Disponível em: <Inicial O Projeto Aprendendo e Ensinando Ciência: uma construção humana Física à sua volta Curiosidades Glossário Magnetismo Terrestre: Um Laboratório Natural>. Acesso em: 20 mar. 2018.

GUIMARÃES, A. P.. **Os 400 anos do De magnete**. 2000. Disponível em: <<http://www.cbpf.br/~labmag/apg.pdf>>. Acesso em: 01 fev. 2019.

GUIMARÃES, Alberto Passos. **A pedra com alma**. Rio de Janeiro: Civilização Brasileira, 2011. 335 p.

REF. **Física 3 Eletromagnetismo**. 5. ed. São Paulo: Edusp, 2012. 438 p.

GRIFFITHS, David J. **Eletrodinâmica**. 3. ed. São Paulo: Pearson, 2011. 401 p..

HALLIDAY, David; RESNICK, Robert. **Fundamentos de Física, volume 3: Eletromagnetismo** 9. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2013.v.3. 375 p.

HART-DAVIS, Adam et al. **O livro da ciência**. 2. ed. São Paulo: Globo, 2016. 352 p.

HARTMANN, G. A. A anomalia magnética do atlântico sul: causas e efeitos. 2005. 154 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) – Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2005

HEWITT, Paul G. **Física conceitual**. 9.ed.Porto Alegre: Bookman, 2002. 685 p.

IAG.**Paleomagnetismo**.2018.USP.Disponívelem:<[http://www.iag.usp.br/paleo/sites/default/files/Paleomagnetismo\\_0.pdf](http://www.iag.usp.br/paleo/sites/default/files/Paleomagnetismo_0.pdf)>. Acesso em: 01 mar. 2018.

IFUSP.**LeideFaraday**.2012.MarcosLima.Disponívelem:<[http://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292\\_2012/Cap8.pdf](http://fma.if.usp.br/~mlima/teaching/4320292_2012/Cap8.pdf)>. Acesso em: 06 fev. 2018.

INDUSMELEC.**Históriadaelectricidade**.2013.Disponívelem:<[http://www.indusmelec.pt/newsletter/05/historia\\_electricidade.pdf](http://www.indusmelec.pt/newsletter/05/historia_electricidade.pdf)>. Acesso em: 23 jan. 2018.

LAHERA, Jesús; FORTALEZA, Ana. **Ciências físicas nos ensinos fundamental e médio modelos e exemplos**. Porto Alegre: Artmed, 2006. 223 p.

LUZZI, Felipe de Oliveira. **Óptica da Fotografia Uma proposta de ensino de óptica com abordagem CTS**. 2017. Instituto Federal De Minas Gerais Campus Sabará.Disponívelem:<[http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/8185/4/MANUAL\\_Professor.pdf](http://www.repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/8185/4/MANUAL_Professor.pdf)>. Acesso em: 25 maio 2018.

KÍTOR, Glauber Luciano. **Lei de Ampère**. 2018. Disponível em: <<https://www.infoescola.com/autor/glauber-luciano-kitor/73/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

MAGALHÃES, Antônio de Pádua. **Matéria elétrica e forma magnética: Experimentos e concepções de William Gilbert no De Magnet.** 2007. 151 f. Tese (Doutorado) - Curso de História das Ciências, Centro de Ciências da Educação, PucSP, São Paulo, 2007. Disponível em: <<https://tede2.pucsp.br/bitstream/handle/13358/1/Antonio%20P%20Magalhaes.pdf>>. Acesso em: 03 mar. 2019.

MORAES, R. **O significado da experimentação numa abordagem construtivista: o caso do ensino de ciências.** Porto Alegre: Sagra – Luzatto, 1998. p. 29–45.

MOREIRA, Marco Antonio. **Breve introdução à Física e ao Eletromagnetismo.** 2009. Textos de apoio ao professor de física v.20 n.06, 2009 Instituto de Física UFRGS. Disponível em: <[https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v20n6\\_moreira.pdf](https://www.if.ufrgs.br/public/tapf/v20n6_moreira.pdf)>. Acesso em: 20 jun. 2018.

MOREIRA, Marco Antonio. **O que é afinal aprendizagem significativa?** 2010. Disponível em: <<https://www.if.ufrgs.br/~moreira/oqueeafinal.pdf>>. Acesso em: 01 abr. 2018

NOVA, Filipe; POLETTI, Wilbor. **O Campo Magnético da Terra.** 2014. Disponível em: <[http://www.iag.usp.br/~eder/3\\_idade\\_1\\_2014/O\\_campo\\_magnetico\\_terrestre.pdf](http://www.iag.usp.br/~eder/3_idade_1_2014/O_campo_magnetico_terrestre.pdf)>. Acesso em: 15 mar. 2018.

OILOSI, Elisa Cristina. **Os estudos de Joseph Priestley (1733-1804) sobre a teoria da eletricidade.** 2010. 122 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ensino de Ciências Naturais, História das Ciências, Puc-sp, São Paulo, 2010. Disponível em: <<https://sapientia.pucsp.br/bitstream/handle/13459/1/Elisa%20Cristina%20Oliosi.pdf>>. Acesso em: 02 mar. 2019.

PARRA, Eduardo Alexsandro. **Os desafios da escola pública paranaense na perspectiva do professor PDE.** 2014. PARANÁ. Disponível em: <[http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos\\_pde/pdebusca/producoes\\_pde/2014/2014\\_uepg\\_cien\\_artigo\\_eduardo\\_alexandro\\_parra.pdf](http://www.diaadiaeducacao.pr.gov.br/portals/cadernos_pde/pdebusca/producoes_pde/2014/2014_uepg_cien_artigo_eduardo_alexandro_parra.pdf)>. Acesso em: 22 maio 2018.

PAZ, A. M. **Atividades Experimentais e Informatizadas: Contribuições para o Ensino de Eletromagnetismo.** 2007. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de

Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Educação Científica e Tecnológica, Florianópolis, 2007. p.17.

PIETROCOLA et al. **Física em contextos pessoal, social e histórico: Eletricidade e Magnetismo**. São Paulo: Ftd, 2011.v.3.p.172.528 p. (Coleção Física em contextos)

PINHEIRO, Katia. **Ogeodínamo**. 2012. Disponível em: <<https://pt.scribd.com/document/183324660/2-2-O-Geodinamo>>. Acesso em: 05 fev. 2018.

POZO, Juan Ignacio; CRESPO, Miguel Ángel Gomez. **A aprendizagem e o ensino de ciências do conhecimento cotidiano ao conhecimento científico**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. 296 p.

RIBEIRO, José Edmar Arantes. **Sobre a força de Lorentz, os conceitos de campo e a "essência" do eletromagnetismo clássico**. 2008. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Física, Instituto de Física, Universidade de São Paulo, 2008. Disponível em: <[file:///C:/Users/Robson/Downloads/Dissert \(4\).pdf](file:///C:/Users/Robson/Downloads/Dissert%20(4).pdf)>. Acesso em: 12 fev. 2018.

ROCHA, José Fernando Moura. **O conceito de "campo" em sala de aula - uma abordagem histórico-conceitual**. 2009. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 31, n. 1, 1604. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v31n1/v31n1a13.pdf>>. Acesso em: 05 maio 2018.

SANTOS, Alessandro. **Força de Lorentz**. 2001. Brandt, Universidade de São Paulo, Notasdeaulafísica3. Disponível em: <[http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas\\_de\\_aula/node75.html](http://alessandrosantos.com.br/emanuel/usp/fisica3/notas_de_aula/node75.html)>. Acesso em: 08 fev. 2018.

SANTOS, Rogério. **Motores elétricos**. 2016. Aprenda física. Disponível em: <<https://aprendafisica.wordpress.com/tag/magnetismo/>>. Acesso em: 16 fev. 2018.

SILVA, Fábio; GONÇALVES, Érica. **Uma investigação sobre a articulação de aspectos CTS no ensino de Física do IFPR-Foz do Iguaçu**. 2014. Congreso Iberoamericano de Ciencia, Tecnología, Innovación y Educación. Disponível em: <file:///C:/Users/Robson/Downloads/1332 (3).pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

SOUZA, Rafael da Silva de. **Origem e Evolução dos Campos Magnéticos Cosmológicos**. 2009. 145 f. Tese (Doutorado) - Curso de Astronomia, Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas, USP, São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/14/14131/tde-20072009-172022/pt-br.php>>. Acesso em: 18 mar. 2018.

TERRA, Lygia; COELHO, Marcos de Amorim. **Geografia geral**. 5. ed. São Paulo: Moderna, 2005. 544 p.

TIPLER, Paul A.; MOSCA, Gene. **Física Para Cientistas e Engenheiros, volume 2: eletricidade e magnetismo**. 5. ed. São Paulo: LTC, 2006. v.2. 550 p.

VALADARES, Jorge. **A teoria da aprendizagem significativa como teoria construtivista**. 2011. Aprendizagem Significativa em Revista Meaningful Learning Review, V1(1), pp.3657. Disponível em: <[http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo\\_ID4/v1\\_n1\\_a2011.pdf](http://www.if.ufrgs.br/asr/artigos/Artigo_ID4/v1_n1_a2011.pdf)>. Acesso em: 12 abr. 2018.

UNESP. **Atração**. 2018. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/experimentosdefisica/ele18.htm>>. Acesso em: 27 jan. 2018.

**APÊNDICE A: PRODUTO EDUCACIONAL TERRELLA**

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO  
SOCIEDADE BRASILEIRA DE FÍSICA  
DEPARTAMENTO DE FÍSICA UFRPE  
MESTRADO NACIONAL PROFISSIONAL EM ENSINO DE FÍSICA – POLO 58



Mestrando: **Robson Lima Pereira do Nascimento**  
Orientador: **Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Miranda**

Recife-PE

2019

## APRESENTAÇÃO

Este material contém o produto educacional desenvolvido na dissertação de mestrado cuja pesquisa abordou o seguinte tema: “**Terrella: uso do modelo simplificado de geodínamo como estratégia para o ensino significativo do eletromagnetismo**” apresentado ao programa de Pós-Graduação da Universidade Rural de Pernambuco (UFRPE) no curso do Mestrado Nacional Profissional em Ensino de Física (MNPEF).

O produto se constitui de dois experimentos batizados de Terrella, pois representam modelos do nosso planeta, sendo desenvolvido com o objetivo de auxiliar os professores de física no ensino do eletromagnetismo, como estratégia para o ensino significativo do conceito de campo magnético e sua relação com a corrente elétrica.

Este se constitui um roteiro de orientações sucinto para uso dos modelos, para auxiliar ainda mais os docentes um vídeo da utilização do produto foi disponibilizado no youtube<sup>62</sup>.

---

<sup>62</sup> <https://www.youtube.com/watch?v=ByA5DnhR0s4&feature=youtu.be>

## COMO UTILIZAR OS MODELOS:

**PRIMEIRO MODELO:** Modelo de Terrella com um ímã no seu interior

Encaixe o globo no suporte de madeira de forma que o polo sul do ímã fique ligeiramente próximo ao polo norte geográfico



Com a esfera no lugar observe para onde aponta o ponteiro vermelho das bússolas devem apontar para o polo sul, pois elas se alinham de acordo com as linhas de campo magnético do ímã central.



Pode-se girar o globo para simular a inversão dos polos da Terra com isso os ponteiros das bússolas também se invertem.



**SEGUNDO MODELO:** Modelo de Terrella com espiras em seu interior (Geodínamo simplificado)

Pode-se acionar qualquer um dos botões verde, amarelo ou vermelho. Na figura acionamos a verde, aplicando-se a regra da mão direita (o sentido da corrente aparece na fita verde) encontraremos o sentido do ponteiro da bússola.



**Invertendo-se a corrente elétrica na bobina verde o ponteiro da bússola aponta no sentido contrário.**



**Acionando dois botões (verde e vermelho) ao mesmo tempo obteremos o campo resultante devido as correntes elétricas nas duas espiras na figura abaixo ele aponta para o sudoeste.**



Obs.: Neste modelo o campo produzido pela espira amarela na bússola aponta verticalmente para cima não produzindo efeito visível na sua mudança de direção.

## APÊNDICE B: PRÉ-TESTE/ PÓS-TESTE (Com adição da pergunta final)

Caro(a) Estudante(a)

Este questionário faz parte de uma pesquisa sobre o ensino de Física.

Solicitamos sua colaboração e desde já agradecemos as informações fornecidas.

Responda as perguntas discursivas de forma objetiva, usando frases curtas.

Estamos a sua disposição para qualquer informação em relação à pesquisa.  
Obrigado!

**Prof. Robson Lima Pereira do Nascimento (Mestrando MNPEF- UFRPE)**

Estudante(a):

- 1) Na sua concepção o que é campo magnético? Cite fontes de campo magnético.
- 2) Para você o que é corrente elétrica?
- 3) Os antigos navegantes usavam a bússola para orientação em alto mar, devido a sua propriedade de se alinhar de acordo com as linhas do campo geomagnético. Analisando a figura onde estão representadas estas linhas, podemos afirmar que:



- a) o polo sul do ponteiro da bússola aponta para o polo Norte geográfico, porque o Norte geográfico corresponde ao Sul magnético.
- b) o polo norte do ponteiro da bússola aponta para o polo Norte geográfico, porque as linhas do campo geomagnético não são fechadas.

c) o polo sul do ponteiro da bússola aponta para o polo Sul geográfico, porque o Sul geográfico corresponde ao Sul magnético.

d) o polo Norte do ponteiro da bússola aponta para o polo norte geográfico, porque o +Norte geográfico corresponde ao Sul magnético.

4) Não existem ímãs em equipamentos eletrodomésticos mas, o funcionamento destes depende da existência de um campo magnético. O que gera o campo magnético nesse caso?

5) Como a Terra cria seu campo magnético?

6) Na sua concepção como o campo terrestre é importante para a vida humana, no ponto de vista tecnológico e ambiental?

7) O que é um dínamo? Qual a associação feita entre a Terra e o dínamo?

8) Uma carga elétrica negativa está perto de uma bússola. É correto afirmar que a carga:

- a) Atrairá o polo norte da bússola, mesmo que essa carga esteja em repouso.
- b) Atrairá o polo sul da bússola, mesmo que essa carga esteja em repouso.
- c) Não interferirá com a bússola, mesmo que essa carga esteja em movimento.
- d) Só interferirá com a bússola se essa carga estiver em movimento.

9) Assinale a opção que apresenta a afirmativa correta, a respeito de fenômenos eletromagnéticos:.

- a. É possível isolar os polos de um ímã.
- b. Imantar um corpo é fornecer elétrons a um de seus polos e prótons ao outro.
- c. Ao redor de qualquer carga elétrica, existe um campo elétrico e um campo magnético.
- d. Cargas elétricas em movimento geram um campo magnético.
- e. As propriedades magnéticas de um ímã de aço aumentam com a temperatura.

10) O ano de 2009 foi o Ano Internacional da Astronomia. Há 400 anos, Galileu apontou um telescópio para o céu, e mudou a nossa maneira de ver o mundo, de ver o universo e de vermos a nós mesmos. As questões, a seguir, nos colocam diante de constatações e nos lembram que somos, apenas, uma parte de algo muito maior:

o cosmo. Um astronauta, ao levar uma bússola para a Lua, verifica que a agulha magnética da bússola não se orienta numa direção preferencial, como ocorre na Terra. Considere as seguintes afirmações, a partir dessa observação:

1. A agulha magnética da bússola não cria campo magnético, quando está na Lua.
2. A Lua não apresenta um campo magnético.

Sobre tais afirmações, marque a alternativa CORRETA:

- a) Apenas a afirmação 1 é correta.
- b) Apenas a afirmação 2 é correta.
- c) As duas afirmações são corretas.
- d) As duas afirmações são falsas.

Comente em poucas palavras, qual a sua visão do planeta Terra depois do contato com o nosso experimento Terrella.

---

---

---

---