

UNIVERSIDADE METODISTA DE PIRACICABA
FACULDADE DE CIÊNCIAS HUMANAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM EDUCAÇÃO

**IMAGENS EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA:
UMA ANÁLISE SEMIÓTICA**

SALOMÃO DE JESUS SANTANA

PIRACICABA, SP

2018

IMAGENS EM LIVROS DIDÁTICOS DE FÍSICA: UMA ANÁLISE SEMIÓTICA

SALOMÃO DE JESUS SANTANA

Orientador: Profa. Dra. **MARIA GUIOMAR CARNEIRO TOMMASIELLO**

**Texto apresentado à Banca Examinadora do
Programa de Pós-Graduação em Educação da
UNIMEP como exigência parcial para obtenção
do título de Mestre em Educação**

PIRACICABA, SP

2018

BANCA EXAMINADORA

Nome do orientador: Profa. Dra. Maria Guiomar Carneiro
Tommasiello/UNIMEP

Nomes dos componentes da banca por ordem alfabética:

Profa. Dra. Carolina José Maria /UNIMEP

Profa. Dra. Gláucia Uliana Pinto/UNIMEP- Presidente *Ad Hoc*.

Profa. Dra. Isabela Custódio Talora Bozzini/ UFSCar

DEDICATÓRIA

Ao meu filho Pedro Gabriel, que me esperou por tanto tempo e manteve-se compreensivo até o término desta “lição bem grande” para então podermos brincar bastante.

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Flávia Spínola da Silva Santana, fonte de muitas das minhas inspirações acadêmicas, e que me acompanhou com serenidade, solidez e bom senso mesmo em tempos de turbulência. Seu amor, carinho e dedicação superaram o descontentamento das ausências que se fizeram necessárias.

Ao meu filhinho Pedro Gabriel, que para podermos brincar, esperava pacientemente o término desta lição, mesmo sem compreender porque a lição do papai era tão grande.

À professora Dra. Maria Guiomar Carneiro Tommasiello, minha orientadora, que me conduziu com sabedoria, paciência e maestria pelo longo caminho que caracteriza uma pesquisa científica. Dos domínios científicos aos filosóficos e políticos, e em muitos outros campos do saber, suas propostas de estudo tem me provocado preciosos despertares. Aqui, os limites do próprio universo semiótico são testados, pois tamanha é minha gratidão, que me faltam palavras para expressá-la.

À minha mãe que sempre se esforçou para compreender meu objeto de estudo, e na tentativa de explicá-lo era impelido para o mais profundo exercício de significação.

À professora Dra. Glaucia Uliana Pinto e demais professores e funcionários do Programa de Pós-Graduação em Educação da UNIMEP, sem os quais este trabalho não poderia ser realizado.

Agradecemos à FAPESP pelo apoio ao projeto-mãe "Pesquisa- Intervenção na Prática Pedagógica de Professores de Ciências da Natureza e Matemática do Ensino Médio de Escolas de Ensino Integral" (2015-21973-2), coordenado pela Prof^a Dra. Maria Guiomar Tommasiello, ao qual essa pesquisa está vinculada.

Enfim, à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pelo apoio financeiro concedido na forma de bolsa, que se fez imprescindível para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

*“O rio que fazia uma volta
atrás da nossa casa
era a imagem de um vidro mole...”*

*Passou um homem e disse:
Essa volta que o rio faz...
se chama enseada...*

*Não era mais a imagem de uma cobra de vidro
que fazia uma volta atrás da casa.
Era uma enseada.
Acho que o nome empobreceu a imagem.”*

Manoel de Barros

RESUMO

Os livros textos têm um papel importante na formação dos alunos. Para muitos deles será somente por meio de um manual didático que entrarão em contato com determinados conceitos de áreas científicas. Embora reconhecendo a importância da compreensão do texto escrito, interessa-nos compreender as possibilidades didáticas das imagens que acompanham os textos e suas respectivas legendas. Considerando que a compreensão de certos conceitos depende de sua visualização, como é o caso de campo elétrico e campo magnético, o problema de investigação pode ser assim enunciado: quais as características das imagens que acompanham os textos das áreas de eletricidade e magnetismo em livros didáticos de física do ensino médio e superior? Este trabalho, portanto, busca compreender as representações sógnicas em livros de Física do ensino superior e médio, fazendo uma análise crítica da sua pertinência e qualidade de forma a contribuir com a melhoria do ensino nessa área. A pesquisa tem como aporte teórico-metodológico os pressupostos da teoria semiótica clássica e da semiótica social, concebidas por Charles Peirce e Jay Lemke. A semiótica é a ciência dos signos, que estuda todas as formas de linguagem humana, baseada em diversos tipos de sinais: verbais, escritos, sonoros, mentais, pictóricos. Foram escolhidas para a análise as obras “Física para Cientistas e Engenheiros”, de Tipler e Mosca, pela expressiva utilização em cursos de Engenharia e de Física e servir de referencial teórico para vários autores de livros didáticos da área, e “Curso de Física”, de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, livro para o ensino médio, da lista de obras selecionadas pelo PNLEM 2015 (Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio), utilizado nas redes de ensino e com grande número de imagens. Sete categorias de análise, estabelecidas por Javier Perales e Jiménez (2002), estão sendo utilizadas: 1) função da sequência didática em que as ilustrações aparecem no texto; 2) Iconicidade; 3) Funcionalidade; 4) Relação com o texto principal; 5) Legendas verbais; 6) O conteúdo científico que sustenta; 7) Cores. Como resultados, destaca-se que as estratégias de leitura de um livro para outro se tornam complexas. No ensino médio as imagens são ilustrações mais realistas e híbridas (parte realista, parte convencional) e no ensino superior são mais abstratas, esquemáticas, convencionais. Quanto mais esquemáticas, mais envolvem conhecimentos prévios, experiências de leituras anteriores e de estratégias de leitura que integram as informações verbais que contextualizam as imagens no espaço gráfico da página. A frequência de ocorrência das imagens é diferente, de uma obra para outra. Há mais imagens no livro de ensino médio em relação ao livro do ensino superior e parecem assumir diferentes papéis. Observam-se também diferentes elementos composicionais, tais como cor e escala.

Palavras-chave: Semiótica das imagens, Imagens em livros didáticos de física, Ensino de Física.

ABSTRACT

Textbooks play an important role in the training of students. For many of them it will only be through a didactic manual that they will come in contact with certain concepts of scientific areas. While recognizing the importance of understanding the written text by the student, we are interested in understanding the didactic possibilities of the images that accompany the texts and their respective legends. Considering that the conceptualization of certain concepts depends on their visualization, as is the case of electric field and magnetic field, the research problem can be thus stated: what are the characteristics of the images that accompany the texts of the areas of electricity and magnetism in textbooks of higher and higher education physics? This work, therefore, seeks to understand the signic representations in higher and higher education Physics books, making a critical analysis of its pertinence and quality in order to contribute to the improvement of teaching in this area. The research has as theoretical-methodological support the assumptions of classical semiotic theory and social semiotics, designed by Charles Peirce and Jay Lemke. Semiotics is the science of signs, which studies all forms of human language, based on several types of signs: verbal, written, sound, mental, pictorial. The works "Physics for Scientists and Engineers", by Tipler and Mosca, were chosen for the analysis for the expressive use in Engineering and Physics courses and to serve as a theoretical reference for several authors of textbooks in the area, and "Physics Course" of Antônio Máximo and Beatriz Alvarenga, a book for high school, for being on the list of works selected by PNLEM 2015 (National Book Program for High School), used in educational networks and for possessing a wealth of images. Six categories of analysis, established by Javier Perales and Jiménez (2002), are being used: 1) function of the didactic sequence in which the illustrations appear in the text; 2) Iconicity; 3) Functionality; 4) Relation with the main text; 5) Verbal subtitles; 6) The scientific content it supports; 7) Colors. As a results, notably the strategies of reading from one book to another become complex. In high school images are more realistic and hybrid illustrations (realistic part, conventional part) and higher education are more abstract, schematic, conventional. The more schematic, the more involve previous knowledge, previous reading experiences and reading strategies that integrate the verbal information that contextualizes the images in the graphic space of the page. The frequency of occurrence of the images is different, from one work to another. There are more images in the high school textbook regarding the book of higher education and seem to take on different roles. Different compositional elements, such as color and scale, are also observed.

Keywords: Semiotics of images, Images in textbooks of physics, Teaching of Physics.

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| APRESENTAÇÃO..... | 11 |
| INTRODUÇÃO..... | 17 |
| CAPÍTULO I. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA..... | 23 |
| 1.1. CONCEITOS CIENTÍFICOS E CONCEITOS ESPONTÂNEOS..... | 23 |
| 1.2. SEMIÓTICA: A CIÊNCIA DOS SIGNOS..... | 29 |
| 1.2.1. A Semiótica Em Peirce..... | 31 |
| 1.2.2. A Semiótica Social: Superando Limitações..... | 38 |
| 1.3. PRODUÇÃO ACADÊMICA SOBRE IMAGENS EM LIVROS DIDÁTICOS..... | 47 |
| CAPÍTULO 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS..... | 60 |
| CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 64 |
| 3.1. CONHECENDO E VALIDANDO O INSTRUMENTO DE ANÁLISE..... | 64 |
| 3.1.1. Função da sequência didática que a imagem representa..... | 67 |
| 3.1.2. Iconicidade..... | 69 |
| 3.1.3. Funcionalidade..... | 72 |
| 3.1.4. Relação com o texto principal..... | 73 |
| 3.1.5. Legendas..... | 76 |
| 3.1.6. Cores..... | 78 |
| 3.1.7. Conteúdo científico que a imagem sustenta..... | 80 |
| 3.2. ANÁLISE DAS IMAGENS DO LIVRO “CURSO DE FÍSICA”..... | 86 |
| 3.2.1. A função da sequência didática em que aparecem as imagens...87 | |
| 3.2.2. Iconicidade..... | 92 |

| | |
|---|-----|
| 3.2.3. Funcionalidade..... | 96 |
| 3.2.4. Relação com o texto principal..... | 98 |
| 3.2.5. Legendas..... | 99 |
| 3.2.6. Cores..... | 101 |
| 3.2.7. Conteúdo científico que a imagem sustenta..... | 102 |
| | |
| 3.3. ANÁLISE DAS IMAGENS DO LIVRO “FÍSICA PARA CIENTISTAS E ENGENHEIROS”..... | 113 |
| | |
| 3.3.1. Afunção da sequencia didática em que aparecem as imagen...114 | |
| 3.3.2. Iconicidade..... | 119 |
| 3.3.3. Funcionalidade..... | 127 |
| 3.3.4. Relação com o texto principal..... | 130 |
| 3.3.5. Legendas..... | 133 |
| 3.3.6. Cores..... | 136 |
| 3.3.7. Conteúdo científico que a imagem sustenta..... | 137 |
| | |
| DISCUSSÃO DOS RESULTADOS..... | 144 |
| | |
| CONSIDERAÇÕES FINAIS..... | 154 |
| | |
| REFERÊNCIAS..... | 160 |

APRESENTAÇÃO

Dadas as peculiaridades de minha formação, é justo começar este trabalho com a tentativa de explicar a mim mesmo e aos meus nobres leitores a sequência de eventos que me lançaram da engenharia para a educação, em uma relação dialética. Passar esses dois últimos anos em uma comunidade composta predominantemente por cientistas sociais, psicólogos e pesquisadores da educação, acredito ter sido um dos períodos de maior crescimento e maturação, tanto de minha consciência, quanto de minha visão de mundo e de ciências.

Quando criança, dizia a meus irmãos e amigos que ao crescer me tornaria um cientista. Aos 17 anos de idade, estava convicto de que estudaria física, época em que me via manipulando com apreciação as equações básicas da cinemática, dinâmica e estática nos estudos da mecânica. Ledo engano, endossado por uma inocência e ingenuidade juvenil, bonita, mas fatal por não ter ainda consciência de toda dinâmica caracterizadora dos jogos de poder e dominação nas relações dialéticas, conflituosas e divergentes que conduzem e organizam nossa sociedade, marcada por cidadãos inertes para a transformação de sua própria realidade, em um complexo desenrolar que leva à alienação social que não me permitiu reconhecer o quanto me era inacessível, assim como para a maioria dos demais 200 milhões de brasileiros, o que Pierre Bourdieu (1997) vinha a chamar de Capital Cultural.

É sob este olhar que hoje reconheço as condições que me levaram ao curso de engenharia mecânica, mesmo imperando a intenção de ser físico. A universidade pública mais próxima que oferecia um curso de física não estava economicamente ao meu alcance, era em uma cidade distante na qual eu não poderia me manter. Filho de pais pobres, totalmente desprovidos de qualquer recurso ou capital financeiro que pudesse me auxiliar numa jornada de estudos longe de casa, em uma época em que pouco se falava em bolsa de estudos, ou programas governamentais de incentivo quase nulo, não me restou outro caminho, além de me profissionalizar, e trabalhar para a obtenção de subsídios financeiros que financiariam minha jornada rumo à educação de nível superior.

A Universidade Metodista de Piracicaba (UNIMEP) estava a oferecer no ano de 2006 um curso de licenciatura em Física, então me inscrevi para o vestibular, mas, para minha decepção, o curso não foi oferecido por falta de candidatos. No próximo vestibular tentei novamente, porém a mesma decepção me cercou. A mesma universidade oferecia, e ainda oferece, alguns cursos de engenharia. Foi aí que me ocorreu a ideia de cursar Engenharia Mecânica, pois, tinha muita física, e eu ainda poderia ser um professor nessas grandes redes de ensino.

Finalizando o curso de engenharia, fui convidado a lecionar para os cursos técnicos no Centro Paula Souza, onde ingressei por processo seletivo numa oportunidade que marcou uma nova fase em minha vida, fase de descobertas, de sincronização e harmonização entre a realidade que me era dada, acessível e eu vi-me professor. Essa transição de atividade profissional me provocou algumas inquietações, ao término de dois anos e meio na docência, ainda no período de adaptação achei-me enfrentando o complexo problema da contextualização dos conteúdos, trabalhando muitas vezes com uma contextualização forçada, artificial e desvinculada da realidade dos alunos, por não entender realmente o que é contextualização, me vi vítima de frustrações, e a tarefa de ensinar se mostrava complexa, mais complexa que as próprias equações da mecânica dos fluidos descrevendo e modelando o comportamento e o fluxo turbulento em uma tubulação, mais complexo que a própria teoria e aplicação dos campos vetoriais na dinâmica dos fluidos ou na propagação das ondas eletromagnéticas. Ensinar os alunos e fazê-los compreender, torná-los capaz de realizar uma leitura simbólica, era realmente complexo, por mais que eu mudasse a minha prática, a frustração me acompanhava. Muito natural para um engenheiro com dezoito atribuições, sendo duas delas relacionadas ao ensino e pesquisa, porém sem nenhuma formação pedagógica.

Não tenho me contentado em ser apenas mais um professor a ensinar ciências/matemática para alunos que fazem de conta que aprendem. Aprender, nos termos desta dissertação, refere-se à capacidade do aluno em mobilizar o conhecimento nas suas mais diferentes formas de registros semióticos, tais como gráficos, equações e descrições verbais, não se limitando apenas a manipulações algébricas com números e equações dos quais não demonstram um conhecimento profundo do seu real significado. Assim, nem sempre expressar um resultado

numérico em uma equação implica em aprendizado, principalmente no universo dos conceitos científicos. Shamos (1995, apud Teixeira, 2003, p.197) exprime bem essa preocupação quando constata que “a ciência aprendida na escola tem pouca permanência além da etapa escolar. O que passa por alfabetização científica é semântica, vocabulários sem correspondência conceitual e, na pior das hipóteses, o sentimento de conhecer alguma coisa sem o comprometimento de uma compreensão de que se trata”. Mesmo sendo uma publicação antiga e não se referindo ao ensino de ciência no Brasil, essa afirmação é perfeitamente compatível com o ensino de ciências praticado ainda o Brasil e possivelmente em muitos países.

Foram essas frustrações e a necessidade de superação que constituíram a força motriz que me direcionou ao Mestrado em Educação. Em um curso de Pós-Graduação enxerguei a chance de buscar a formação pedagógica que me fazia falta. Entrei com o propósito de estudar, compreender como conduzir os alunos na aquisição da linguagem matemática, a fim de torná-los cidadãos que compreendam os fenômenos naturais descritos em sua linguagem científica, sem recorrer às técnicas mnemônicas, e torná-los aptos a aplicar o conhecimento científico em seus dia a dia. A intenção é de contribuir para a formação da consciência destes estudantes e tornando-os sujeitos e participantes ativos de sua realidade, assim, a interação com as questões que se apresentaram me conduziram ao estudo da semiótica.

Passei então a compreender que a sala de aula não é apenas um aglomerado composto por indivíduos, caracterizando uma massa homogênea e sem face, sem voz, sem conhecimento significativo, mas sim a união de várias perspectivas, crenças e diferentes ideias que predominam de forma singular, que se recombina em várias dimensões caracterizando um aglomerado heterogêneo de indivíduos repleto de particularidades, com diversidade de conhecimentos, e objetivos que se assemelham nas mais diversas esferas: sociais, políticas ou econômicas. Estas pessoas chegam à sala de aula claramente marcadas pelas condições socioeconômicas que as contornam. Uma prática de ensino a partir desta perspectiva passa a me exigir um olhar apurado, para a compreensão das questões socioeconômicas e ideológicas que constituem a realidade dos meus alunos, e a

partir de então moldar as aulas, e o processo de ensino aprendizagem em concordância com o cenário o qual estou exposto em cada dia e em cada sala de aula.

Falar em sala de aula, me vem à mente uma cotidiana e típica aula de física, na qual um grupo de alunos resolve uma lista de exercícios. Caprichosamente preparada, contextualizada, abordando suas próprias indagações, todos futuros técnicos e engenheiros. O cenário é o mesmo, tanto quando o assunto é a lei de Ohm - Pouillet, do estudo da eletrodinâmica, discutindo o fluxo de elétrons a partir de um gerador conectado a um circuito fechado, e todos operam com uma equação que tem basicamente a forma:

$$\mathcal{E} = (r + R) * i$$

Quanto para a mesma ideia associada à mecânica, no caso, a mecânica dos fluidos, ou hidrodinâmica, que discute o fluxo de um fluido em uma determinada tubulação, também em um circuito fechado, com a equação que tem a forma:

$$P_1 + \rho gh_1 + \rho v_1^2 = P_2 + \rho gh_2 + \rho v_2^2$$

Exercícios, que de acordo com o paradigma estabelecido para o ensino da Física, são preparados considerando que “o processo de aprendizado de uma teoria depende do estudo das aplicações, incluindo-se aí a prática de resolução de problemas, seja com lápis e papel, seja com instrumentos num laboratório” (Khum, 2012,p.120). Então, se o estudioso da dinâmica newtoniana descobrir o significado de termos como “força”, “massa”, “espaço”, e “tempo”, será por ter observado e participado da aplicação desses conceitos à resolução de problemas, mais do que decorar definições incompletas (puro verbalismo) do seu manual (ou livro didático).

Há discussão entre eles, conferem resultados, já superadas em muito as questões aritméticas, ocupam-se com operações algébricas e solicitam por esclarecimentos relacionados à interpretação das questões. Ecoa entre os sussurros e indagações, questões com basicamente três tipos. Ao primeiro tipo de questionamentos estão associados os alunos que atingiram um maior grau de compreensão do problema geralmente tem a forma: “Então...Qual o valor da corrente elétrica na saída do gerador ?” Normalmente eles são a minoria entre os escolares e revelam domínio de conceitos e compreensão do temas, possuem apenas uma insegurança comum entre estudantes ao tomarem contato com um novo objeto de conhecimento. Estes compreendem que o “ i ” na equação do gerador está relacionado à corrente elétrica, e que corrente elétrica é o movimento ordenado de cargas elétricas na superfície de um condutor de eletricidade, cargas que encontram resistência elétrica ao longo do circuito elétrico e são superadas pela força eletromotriz. Essa minoria revela algo especial nesta pesquisa: o domínio dos conceitos científicos

Ao que outro grupo de alunos pergunta, “Quanto deu o seu “ i ” ?” A este grupo estão associados os escolares que conseguem operar com o objeto de estudo em nível algébrico e matemático, operam com as equações e conseguem encontrar um valor numérico, desde que identificado corretamente a incógnita na descrição da situação problema, porém não operam a nível conceitual, ainda não estão conscientes do uso e da aplicação de conceitos tais como corrente elétrica, diferença de potencial e resistência elétrica. Não dominam, tampouco estão conscientes do uso dos conceitos científicos pertinentes à temática do estudo.

Um terceiro grupo, ainda mais agitado e preocupado, questiona “O que é “ i ” mesmo?”, este último preocupa o professor sobremaneira, revelam extrema dificuldade em operar com a linguagem científica em seus mais diferentes aspectos: na forma de discurso escrito ou falado, na forma imagética, gráficas ou esquemáticas e também na forma matemática. O educador se vê inquieto, em relação a este grupo por duas razões principais: primeiro porque este grupo representa a maioria dos estudantes das ciências exatas, segundo, porque, de acordo com Vigotski (2010) o aprendizado dos conceitos científicos está intimamente

radicado na formação da consciência do escolar, conforme será discutido posteriormente.

Os livros didáticos são os instrumentos de sistematização de ensino mais utilizados em sala de aula. Ainda, de acordo com Perales e Jiménez (2002) mais de 50% das superfícies dos livros didáticos são preenchidos por imagens. Aqui germina as questões que conduzem esta pesquisa, ou seja, primeiro encontrar uma teoria que seja capaz de auxiliar na compreensão do papel das imagens para a formação e compreensão dos conceitos científicos pelo estudante, segundo investigar as possibilidades didáticas que giram em torno dessas imagens. Apoiando-se nas categorias de análise de imagens apresentadas por Perales e Jiménez (2002) a associando-as com a teoria semiótica surge então uma metodologia de pesquisa potencialmente fecunda para tratar com profundidade essas questões, limitando o campo empírico nos próprios livros didáticos.

INTRODUÇÃO

Duval (2011) ao tratar dos problemas de compreensão na matemática aponta dois tipos de dificuldades radicalmente diferentes. Em breves períodos, como os de uma semana, um assunto específico ou em uma aula, aparecem as dificuldades locais, e estão associada à introdução de um novo conceito ou procedimento. Já no período de um ano ou em ciclo do currículo, aparecem as dificuldades globais, associadas à resolução de problemas, ao raciocínio, à visualização geométrica, à visualização gráfica e muitas vezes, estas se confundem com as dificuldades locais. Uma aproximação com essa problemática só é possível a partir de uma perspectiva epistemológica e cognitiva, ou seja, conhecendo a natureza do objeto de conhecimento e os processos cognitivos a ele associados, a complexidade dessa questão pode ser superada com uma abordagem a partir dos registros de representação semiótica: Imagens, gráficos, tabelas, esquemas etc. O domínio dos conhecimentos matemáticos está diretamente relacionado à compreensão dos fenômenos físicos e dos conceitos científicos presente nessa área particular da ciência.

É o domínio dos conceitos científicos que conduzirão os alunos para o nível de compreensão efetivo das ciências. Segundo Lemke (1990), os alunos atingem essa compreensão quando juntamente com a aplicação dos conceitos aprendem a “falar ciências”.

Os professores de ciência pertencem a uma comunidade de pessoas que já falam a língua da ciência. Estudantes, pelo menos por um longo período de tempo, não. Os professores usam essa linguagem para dar sentido a cada tópico de uma maneira particular. Os alunos usam seu próprio idioma, eu coloco uma visão do assunto que pode ser muito diferente. Esta é a razão pela qual a ciência da comunicação pode ser tão difícil. (LEMKE,1990, p.12)

Quando se fala em comunicação, é impossível que esta aconteça fora das dimensões da semiótica, a ciência dos signos que será tomada como fundamento neste trabalho (PINO, 2005). Nessa discussão é importante ampliar a compreensão

da semiótica segundo o enunciado de Bakhtin (2014). Além da relevância da construção desse tipo de conhecimento no campo acadêmico, há a expectativa em relação à relevância social desta investigação. Assim, é possível observar que compreender os modos de comunicação que medeiam o ensino e a aprendizagem pode contribuir para a melhoria da Educação, sobretudo na educação em Ciências. Dessa maneira, acredita-se que este trabalho fornecerá subsídios para que abordagens pedagógicas passem a apreciar uma visão ampliada da comunicação, da construção e do compartilhamento de significados em sala de aula.

Halliday (1985) aponta que as características da linguagem emergem de seu uso social. Surgem principalmente como funções para exprimir o nosso julgamento acerca de algo, para direcionar o olhar de outros àquilo que desejamos, para dirigir a conduta de outras pessoas, para estabelecer relações sociais e de poder. Ao solicitarmos que a linguagem atenda a cada uma dessas demandas, nós fazemos escolhas entre todo um conjunto de signos possíveis e disponíveis no conjunto de conhecimentos historicamente produzidos pelas sociedades. Assim, em cada situação escolhemos os recursos que mais se aproximam das nossas intenções com respeito às interações sociais.

Aqui surge a importância das imagens, que segundo Duval (2009), facilitam o acesso do estudante ao objeto de conhecimento, e quando tomadas sob a perspectiva semiótica, permitem uma profunda aproximação com as funções cognitivas responsáveis pela aprendizagem. Embora as imagens ocupem grande parte dos livros didáticos, se utilizadas de forma não criteriosa durante as atividades de ensino aprendizagem, seja nos livros didáticos, no quadro negro ou nos projetores de imagens podem não surtir o efeito desejado, conforme as limitações vislumbradas à luz da teoria dos signos. Assim, o tamanho da imagem, as cores, as escalas envolvidas, a correspondência semântica com os enunciados e conceitos, a quantidade das imagens presentes nos livros textos e muitos outros critérios devem ser considerados para que efetivamente possam desempenhar o seu papel nos contornos da didática.

Cabe aqui um esclarecimento sobre o termo imagem. Por que imagem e não ilustração, por exemplo? Esses dois termos são usados como sinônimos, mas de

acordo com Perales (2006) o termo ilustração é uma imagem mais específica, exclusivamente gráfica, que acompanha os textos escritos com a intenção de complementar a informação que estes fornecem, enquanto imagens são representações de seres, objetos ou fenômenos, sejam em caracteres gráficos ou mentais, frutos de um processo de abstração. Assim, o termo utilizado no trabalho será imagem, por se adequar aos objetivos da pesquisa.

Embora reconhecendo a importância da compreensão do texto escrito, interessamos compreender as possibilidades didáticas das imagens que acompanham os textos e suas respectivas legendas. Considerando que a conceitualização e a compreensão de certos fenômenos depende de sua visualização, como é o caso de campo elétrico e campo magnético, o problema de investigação pode ser assim enunciado: quais as características das imagens que acompanham os textos das áreas de eletricidade e magnetismo em livros didáticos de física do ensino médio e superior? Estudar e compreender os fenômenos relacionados à eletricidade e ao magnetismo implica em recorrer ao uso das representações ou das imagens, pois são fenômenos praticamente invisíveis. O acesso a este objeto de conhecimento é apenas possível de forma indireta observando seus efeitos nos experimentos de laboratório ou por meio dos registros de representações semióticas.

Este trabalho, portanto, tem como objetivo analisar as representações sógnicas em livros de Física do ensino superior e médio, fazendo uma análise crítica da sua pertinência e qualidade de forma a contribuir com a melhoria do ensino nessa área. Ao se analisar o transcurso da formação do estudante, desde o ensino médio ao ensino superior, amplia-se as possibilidades de discussões e compreensão do processo de formação, que pode ser tanto para o exercício do próprio magistério ou docência, quanto para uma das muitas outras formações profissionais possíveis das quais demandam uma boa formação em Física.

Como já exposto, o desempenho dos alunos nas áreas de Física e Matemática está fortemente relacionado às representações simbólicas não significadas pelos discentes. As representações, segundo Duval (2003), podem ser *mentais* (conjunto de imagens e concepções que um indivíduo pode ter sobre um objeto), *internas ou computacionais* (caracterizam-se pela execução automática de uma informação) e

semióticas (produções constituídas pelo emprego de signos pertencentes a um sistema de representação, como meio de exteriorizar as representações mentais para fins de comunicação).

Portanto, este estudo perpassa pelo desenvolvimento dos conceitos científicos, que surge no processo de ensino e aprendizagem, e que de acordo com Vigotski (2010) se dá no interior de um sistema de conceitos científicos. O trabalho está assim delineado:

O primeiro capítulo, a partir de uma revisão bibliográfica, busca apresentar a estrutura deste sistema de conceitos que caracterizam a formação da consciência do escolar, e quando conscientizados, estes conceitos são fundamentais para a prática e comunicação científica. A formação dos conceitos científicos e a sua relação com os conceitos espontâneos são tratadas objetivamente neste capítulo, o desenvolvimento deste sistema de ideias aponta a semiótica como raiz e fundamento para todo o tecido conceitual presente nas ciências.

Apresenta, ainda, a semiótica como a ciência dos signos. Há um destaque para a semiótica segundo a visão de Charles Sanders Peirce, da qual surge uma estreita relação com as categorias de análise das imagens analisadas neste trabalho, porém, não somente, a crítica de Bakhtin (2010) ao objetivismo abstrato na semiótica tradicional também é apresentada como base para o desenvolvimento da semiótica social, que lança luz sobre o papel do professor quanto a utilização das imagens nos processos de ensino e aprendizagem. Duval (2010) e Lemke (2010), também são destacados como importantes teóricos da semiótica, o último apresenta a semiótica social presente nas aulas de ciências, concordando com Bakhtin (2014) no transcurso da semiótica social. Neste capítulo o papel da semiótica no ensino da Física ganha destaque, é apresentado a importância dos signos e seu papel na comunicação de conceitos e na linguagem científica, bem como o conceito de iconicidade que conduziram as análises das imagens nos livros didáticos estrategicamente selecionados para esta pesquisa. Fonseca (2014) aponta ainda que nas últimas décadas, o papel da linguagem nos processos de ensino-aprendizagem tem sido objeto de investigação de muitas pesquisas no campo da Educação em Ciências (DRIVER *et al.*, 1999; MORTIMER & SCOTT, 2002; SCOTT

et al., 2006; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE & ERDURAN, 2007). Influenciados pela abordagem sócio-cultural, esses estudos deslocam o foco na aprendizagem como um feito individual para entendê-la como um processo de construção de significados em contextos sociais como a sala de aula (MORTIMER & SCOTT, 2002).

O segundo capítulo apresenta a metodologia utilizada para uma análise qualitativa das imagens presentes nos livros didáticos selecionados. A análise é realizada fundamentada na teoria semiótica previamente apresentada. As imagens dos livros didáticos são apresentadas como importantes recursos de representação semiótica para a comunicação, constituição e conceitualização de ideias científicas. (MARTINS, GOUVÊA & PICCININI, 2005). Para determinados conceitos, como por exemplo, campos elétricos e magnéticos, é indiscutível a sua importância para a visualização e inteligibilidade.

O terceiro capítulo traz uma discussão sobre as análises realizadas. Para o estudo dos conceitos científicos, são utilizadas as categorias (e subcategorias) de análise propostas por Perales e Jiménez (2002) para avaliar a adequação das imagens em livros de ciências. São elas: função no texto (para que as imagens são utilizadas), iconicidade (grau de complexidade da imagem); funcionalidade (o que se pode fazer com as imagens); relação com o texto (referências mútuas entre texto e imagem); legendas verbais (textos incluídos nas ilustrações) e conteúdo científico (as imagens se apoiam ou não em representações chave para a correta interpretação dos fenômenos).

O terceiro capítulo traz ainda uma discussão sobre as representações dos conceitos. Dos conceitos investigados destacam-se: a força eletromotriz induzida, o fluxo magnético, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. A análise foi realizada tomando-se os fragmentos da sequência didática, ou seja, imagens mais textos que fazem a exposição destes conceitos científicos nos livros em questão.

Ainda no terceiro capítulo há dois subcapítulos dedicados à análise dos conceitos e do conteúdo científico que a imagem sustenta. A categoria “conteúdo científico que a imagem sustenta” não apresenta subcategorias, assim para sintetizar a investigação, tornando-a mais objetiva, as características desta categoria nas duas obras analisadas são apresentadas nestes subcapítulos. Foram separados conceitos

fundamentais para a compreensão da indução magnética e investigados como são apresentados os conteúdos científicos fundamentais para a compreensão destes conceitos.

Na discussão das análises é possível acompanhar o estudo em uma perspectiva mais específica, ou seja, são discutidos os dados obtidos durante o processo de investigação. As características principais em cada obra tornam-se mais evidentes e a forma de exposição do conteúdo ou dos conceitos é investigada com dados do campo empírico que se resume a análise das obras.

Nas considerações finais são destacadas as possibilidades didáticas e suas limitações à luz desta investigação. As possibilidades se estendem desde os ilustradores e editoras até o uso das imagens pelos professores. A conexão, ou continuidade dos graus de complexidade e profundidade dos assuntos, a continuidade das pesquisas, também são temas presentes nas considerações finais.

CAPÍTULO 1. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1. CONCEITOS CIENTÍFICOS E CONCEITOS ESPONTÂNEOS

De acordo com Lemke (1990), para se aprender ciências, deve-se paralelamente aprender a falar ciências, revelando-se aí a importância dos conceitos para a aprendizagem, mas os conceitos não surgem espontaneamente na consciência do estudante. A partir das discussões de Vigotski (2010) pode-se pressupor que o problema da compreensão, assimilação, aprendizagem e do ensino da Física pode ser mais bem compreendido a partir dos estudos da formação dos conceitos espontâneos e científicos e seu papel na constituição da consciência dos alunos. Os fundamentos para essa análise encontram-se radicados na semiótica, na análise do discurso em suas variadas formas e, neste estudo, principalmente nos conteúdos imagéticos (fotografias, esquemas, diagramas, ilustrações e gráficos). Há duas razões fundamentais que apontam a importância de estudos nesse sentido.

Primeiro, com a aprendizagem centrada no campo dos conceitos científicos observa-se no escolar, de acordo com Vigotski (2010), níveis elevados de tomada de consciência, ou seja, o uso consciente, intencional e arbitrário dos conceitos, ao contrário dos conceitos espontâneos, onde seu uso é inconsciente. O escolar que ainda não aprendeu ciências usa a palavra “força” de maneira correta e espontânea em sua fala, mesmo não podendo explicar o que é “força”. Uma série de funções psicológicas precisa ser desenvolvida neste processo de desenvolvimento de conceitos. Atenção arbitrária, memória lógica, abstração, comparação e discriminação são todos processos complexos impossíveis de serem simplesmente memorizados ou assimilados como uma habilidade intelectual qualquer.

Não menos que a investigação teórica, a experiência pedagógica nos ensina que o ensino direto dos conceitos sempre se mostra impossível e pedagogicamente estéril. O professor que envereda por este caminho costuma não

conseguir senão uma assimilação vazia de palavras, um verbalismo puro e simples que estimula e imita a existência dos respectivos conceitos na criança, mas na prática, esconde o vazio. Em tais casos, a criança não assimila o conceito mas a palavra, capta mais de memória que de pensamento e sente-se impotente diante de qualquer tentativa de emprego consciente do conhecimento assimilado. (VIGOTSKI, 2010, p.247)

Portanto, aqui radica mais uma importância fundamental para este estudo, pois não se forma a consciência do escolar nem se produz nele a humanidade historicamente constituída pelo simples uso de palavras ou esquemas verbais mortos e vazios. Dizer que “força é o agente capaz de alterar o estado de equilíbrio dos corpos”, não faz do escolar conhecedor do que realmente é força, se este não sabe de antemão o que é agente, o que é equilíbrio, e o que são “corpos” na Física.

Os conceitos científicos não são assimilados nem decorados pelo escolar, não são memorizados, mas surgem e se constituem por meio de uma imensa tensão de toda a atividade do seu próprio pensamento (VIGOTSKI, 2010). A aprendizagem se dá mais pela resolução de problemas e aplicação dos conceitos, do que pela simples memorização de construções verbais e definições. (LEMKE, 1990).

A partir do uso das imagens o educando tem acesso a uma nova forma de representação da realidade, aquilo que não é inteligível pelas palavras ou pelo discurso, torna acessível às operações do pensamento por intermédio das imagens, uma vez compreendido o conceito representado por uma figura, com maior ou menor grau de iconicidade, este toma uma posição em um sistema conceitual, representado de forma pedagogicamente rica por Vigotski, por intermédio de um sistema de coordenadas geodésicas figuras 1.1 (a) e 1.1 (b), no qual os conceitos se distribuem em posições de latitude e longitude, pois é muito comum que os conceitos existam numa determinada relação uns com os outros, ou seja, surgem em um círculo de outros conceitos. Thomas Kuhn (2005) perpassa por essa discussão ao mostrar que os conceitos científicos só obtêm um significado pleno quando relacionados dentro de uma apresentação sistemática em conjunto com outros conceitos científicos.

Neste sistema em um polo vai estar um conceito que é menor em subordinação, o mais concreto, visível e ligado à realidade. No outro polo estará o conceito abstrato ao máximo. Todos os conceitos estarão dispostos nesse eixo e o lugar que o conceito ocupa nesse eixo poderia ser chamado de “latitude desse conceito” e indica a combinação peculiar de momentos concretos e abstratos contidos neste conceito.

Tomando-se, por exemplo, os conceitos como Rosa, Violeta, Lavanda, observa-se que são da mesma latitude, subordinados ao conceito Flor, embora ocupam diferentes longitudes. Por outro lado, tomando-se, por exemplo, os conceitos Rosa, Flor, Planta e Organismo, fica claro que se trata de uma fileira de conceitos que ascendem em sua latitude, todos ocupam posições hierárquicas diferentes em um sistema de conceitos. Tipos particulares de conceito que representam diferentes esferas da realidade.

Uma vez articulado neste sistema, que constitui a base da consciência do escolar, este conceito torna-se internalizado e seu uso torna-se arbitrário e consciente, ou seja, submetido ao controle voluntário. É o momento do nascimento da compreensão de um conceito, da tomada de consciência, ou seja, a generalização e que conduz imediatamente à apreensão do conceito. (VIGOTSKI, 2010)

Cada etapa etária tem seu próprio meio de generalização da realidade, com seu próprio meio de refletir na consciência o quadro geral da realidade e do mundo. Os conceitos espontâneos que se formam na consciência do escolar são desprovidos das conexões que Vigotski chamou de Relação de União Comum. Essa ausência de conexões entre os conceitos impossibilitam o seu uso consciente e arbitrário.

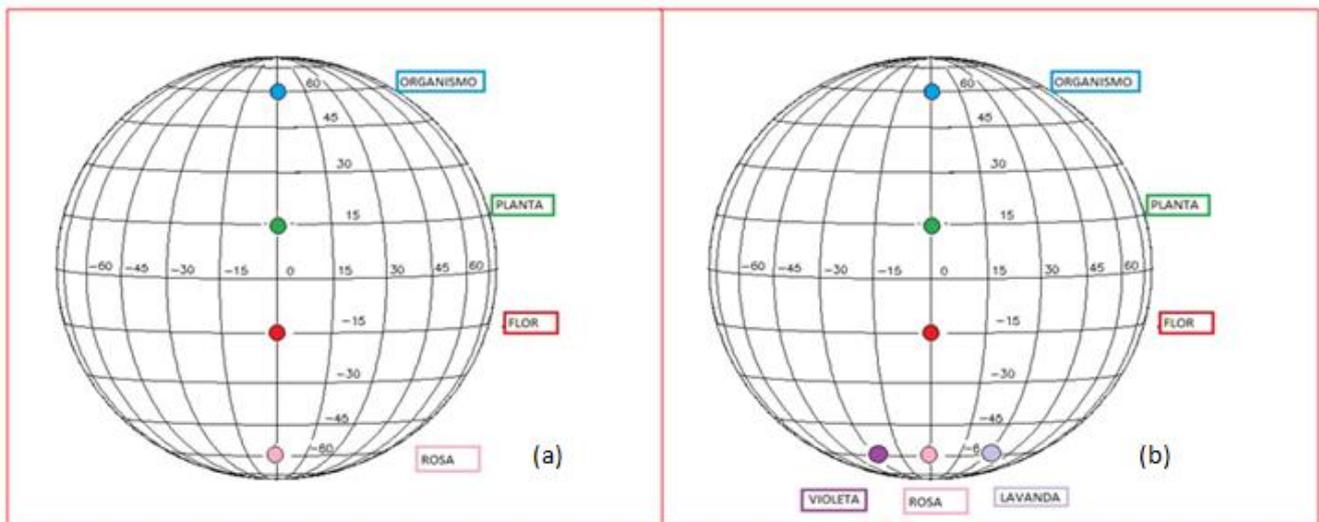


Figura 1.1. Distribuição dos conceitos organizados em um sistema de conceitos: a) rosa, flor , planta e organismo estão em ordem ascendente de latitude, b) violeta, rosa e lavanda estão na mesma latitude mas em diferentes longitudes.(Fonte: adaptação de VIGOTSKI, 2010, P.290)

Essa mesma estrutura ilustra a natureza e a organização dos conceitos em qualquer campo da aprendizagem científica, o conceito “energia”, estaria paralelamente à sua definição, associado à um esquema, ou sistema hierárquico de conceitos, ao qual estariam subordinados “energia elétrica”, “energia química”, “energia mecânica”, “energia nuclear”, entre outros, em um complexo e sofisticado esquema de relações que levaria a formação de todo o tecido conceitual da Física. Sendo um dos problemas desta pesquisa o de amparar o escolar no desenvolvimento e aquisição de conceitos científicos, recorrendo-se para tanto ao sistemático uso das imagens, sob o viés da teoria semiótica nos manuais didáticos, a natureza dos conceitos não poderia ficar à margem da discussão.

Neste sistema proposto por Vigotski, os conceitos científicos surgem e se constituem por meio de uma imensa tensão de toda a atividade de seu próprio pensamento, estão fixados em uma complexa teia conceitual, constituída de hierarquia e relações, que se constituem por conceitos superiores e conceitos co-subordinados (VIGOTSKI, 2010, p.290). Então não é exagero afirmar que a tomada de consciência passa pelos portões dos conceitos científicos. Os conceitos só se tornam conscientes e arbitrários no interior deste sistema de conceitos. Há uma

dependência entre o surgimento dos conceitos científicos e conceitos espontâneos, há uma influência de um sobre o outro.

A relação conceito espontâneo/conceito científico é tratada por Duval (2009) a partir da oposição consciente/não-consciente. Para o autor, a consciência se caracteriza pelo desígnio de “qualquer coisa” que pega *ipso facto* o estatuto de objeto para o sujeito efetuando este desígnio. A passagem do não consciente ao consciente corresponde a um processo de objetivação para o sujeito que toma consciência. A objetivação corresponde à descoberta pelo próprio sujeito do que até então ele mesmo não supunha, mesmo se outros lhe houvessem explicado. Aqui radica o esclarecimento do uso do conceito “força” e “energia” corretamente pelo escolar, mesmo de forma inconsciente, porém ao torná-los consciente, por intermédio da educação, o uso destes conceitos deixa de ser espontâneo, constituem-se um processo de objetivação, e seu uso se torna menos suscetível aos equívocos que caracterizam a natureza do senso comum. (DUVAL, 2009)

Toda essa dinâmica seria impossível fora das dimensões do universo da semiótica, pois é quase impossível estudar os fenômenos relativos ao conhecimento sem se recorrer à noção de representação e significação, uma vez que não há conhecimento que possa ser mobilizado por um sujeito sem uma atividade de representação. Desde Descartes e Kant, a noção de representação está no centro das reflexões que questionam o conhecimento. Olhar um fenômeno e conferir-lhe outro modo de existência, o semiótico, o simbólico, é o que se toma aqui por representação. Sendo o objetivo do olhar do cientista, ou neste caso do aluno ou professor o de explicar as coisas que fazem parte da natureza, o objeto deste olhar é a representação que se faz delas. Em síntese o conhecimento científico tem um caráter conjectural, pelo qual se exige a homologação da comunidade científica. A ciência é um conjunto de conexões, de representações e de conceitos historicamente constituídos impossível de existir fora do universo da semiótica. (DUVAL, 2009).

Em termos psicológicos, um conceito é um ato de generalização, que evoluem assim como os significados das palavras. Todo conceito expresso por uma palavra representa uma generalização, no entanto, em cada período do desenvolvimento,

em cada faixa de idade, há uma estrutura de generalização correspondente, que evolui de um tipo mais elementar a um tipo mais elevado, conduzindo ao processo da formação dos verdadeiros conceitos. Cada faixa etária, pode ser associada a uma forma de pensamento que flui desde o pensamento sincrético, evoluindo para pensamento abstrato, pensamento pré conceitual, pensamento por complexo e pensamento conceitual. (VIGOTSKI, 2010).

Ainda, segundo o autor, os conceitos espontâneos manifestam sua fraqueza na incapacidade para a abstração, para uma operação arbitrária com estes conceitos, ao passo que a sua aplicação incorreta ganha validade. Já com relação aos conceitos científicos, sua debilidade é o seu verbalismo, o principal perigo no desenvolvimento dos conceitos científicos. Cabe pressupor que os conteúdos imagéticos ou representações visuais presentes nos manuais didáticos constituem poderosas ferramentas no auxílio do ensino dos conceitos científicos, evitando a armadilha do verbalismo. Aqui a imagem será tomada como um instrumento para a superação e emancipação da base visual e sensitiva do pensamento, possibilitando ao escolar operar com conceitos mais complexos e sofisticados como resultado do desenvolvimento ou da compreensão dos conceitos científicos.

Este estudo perpassa, portanto, pelo desenvolvimento dos conceitos científicos, que surge no processo de ensino e aprendizagem, e se dá no interior de um sistema de conceitos científicos (aquele representado no sistema de coordenadas geodésicas). Respeitada, convenientemente a complexa teia cognitiva que interconecta palavra, pensamento, formação de novos conceitos e desenvolvimento, Vigotski (2010) propõe que o conceito e o próprio significado da palavra evoluem a partir de um complexo e delicado processo ponderando que apenas métodos de ensino complexos e sutis, ou elaborados sistemas de educação podem ser uma interferência que pode avançar e elevar o processo de desenvolvimento. Assim, o ensino consciente de novos conceitos aos alunos pode ser fonte de um desenvolvimento superior de conceitos e sofisticadas formas de pensamento e reflexão no processo de ensino escolar.

A partir da perspectiva das teorias semiótica tradicional, Duval (2011), aponta que os responsáveis pelo ensino se deparam com mais uma estrutura de

enriquecimento didático para a condução do processo de ensino/aprendizagem. É necessária uma aproximação entre os conhecimentos do professor e do aluno através das ferramentas ou recursos de mediação, tais como os oferecidos pela teoria semiótica, ou dos registros de representações. A ciência semiótica, ao aproximar-se do funcionamento cognitivo do pensamento humano mostra-se fecunda, pois trata das questões diretamente relacionadas ao desenvolvimento humano no plano da educação.

Assim o terreno da semiótica mostra-se particularmente fértil para se tratar das questões da aprendizagem e da educação como um todo, pois é no universo semiótico que ocorrem as trocas e as transformações necessárias entre o homem e a sociedade e do homem consigo mesmo, sendo a semiótica fundamental tanto para a identificação dos elementos culturais que precisam ser assimilados pelo homem, quanto pela descoberta das formas adequadas de desenvolvimento pedagógico vinculado à aprendizagem das ciências, ao promover uma profunda aproximação com o funcionamento cognitivo do pensamento.

1.2. SEMIÓTICA: A CIÊNCIA DOS SIGNOS

A semiótica, ou a ciência dos signos, é objeto de estudo desde a antiguidade. Platão se preocupava com questões relacionadas ao signo, buscando estabelecer uma correlação entre os sons das palavras e o seu significado. A “teoria geral dos signos” tem sido tema de diversos filósofos, a começar por “*De signs*” de R. Bacon (1215-1224) e com o “*Tractatus de signis*” de João de São Tomás (1589-1644). Muitas obras vinculadas às grandes disputas filosóficas que atravessam a história da filosofia, como o realismo e o nominalismo, o racionalismo e o empirismo apresentam como tema a teoria dos signos. Neste cenário há destaques para autores e obras tais como o “*Éssai sur l’origine des connaissances humanies* (1746), de Etienne B. Condillac (1715-1780), revelando o signo como fonte das ideias; “*Semiótica*” (1746) como o primeiro tratado geral do signo, de Johan H. Lambert

(1728-1777); Na “*Essay concerning human understanding*” (1690) de John Locke (1632-1704); “*Elements on philosophy concerning body*” (1655), de Thomas Hobbes, e também os tratados de Diderot (1713-1784), “*Lettres sur les aveugles*”(1748), “*Lettressur les souds et muets*” (1751), que sustentam que a linguagem gestual é mais expressiva e lógica que a verbal, esta articulada em um sistema linear (PINO, 2005, p.120).

No entanto, a fundamentação teórica desta pesquisa está apoiada em Charles Sanders Peirce, Ferdinand de Saussure, Raymund *Duval* e Jay L. Lemke, todos influenciando o pensamento da teoria geral dos signos a partir do período Moderno ao contemporâneo. Muitos outros autores se mostram importantes, porém o enfoque nas discussões direcionadas ao ensino de matemática e sua relação com a semiótica é muito presente nas obras de Duval. Lemke trata sistematicamente das relações entre as imagens e o ensino de ciências, bem como as diversas configurações do discurso: falado ou escrito, se aproximando convenientemente com o tema abordado na pesquisa. Ferdinand de Saussure se torna importante neste estudo, pois entendia a linguística como um ramo da ciência mais geral dos signos, que ele chamou de Semiologia. (DUVAL, 2011).

Segundo Duval (2011), três modelos de análise dos signos fundamentam a semiótica pela abordagem da diversidade dos signos e o seu papel no funcionamento da atividade científica e na comunicação. O modelo de Peirce, elaborado entre os anos 1890 – 1910, nos Estados Unidos, o de Saussure, com a publicação em 1916 da obra fundadora do método de análise estrutural, *Cours de linguistique générale*, em Genebra e os dois artigos de Gottlob Frege de 1892 e 1894, abordando o progresso rigoroso e não tautológico do raciocínio, criticado por Russel em 1905. Surgiram todos praticamente ao mesmo tempo e de maneira independente.

Saussure, na abordagem de Duval (2011), faz a distinção entre signo e sistema semiótico a partir de duas proposições. A primeira diz que os signos não têm nenhuma realidade material, eles são invariantes de ocorrências que mudam sensivelmente. Um signo não tem nada de sensível, é sua produção vocal ou gráfica executada por alguém que o torna sensível. A segunda proposição diz que os signos

são constituídos por suas relações de oposição aos outros no interior de um sistema. Os signos só podem ser reconhecidos como signos a partir da relação de oposição que eles têm com outros signos no interior de um sistema semiótico.

Assim, com a sua semiologia, Saussure estava preocupado com a distinção do signo, do significado e do significante, e suas relações com a linguística, a constituição do discurso e a materialidade do signo.

Diferentemente de Saussure e Peirce, Frege não se ateve a uma definição para o signo, pois dado o caráter da escrita simbólica em álgebra e em análise, o signo estava no coração da matemática e conseqüentemente das ciências exatas. Interessou-se diretamente pelo modo que a produção semiótica possa ter implicações de prova e de descoberta matemática simultaneamente.

Cada um destes modelos de análise, o de Peirce, o de Saussure e o de Frege consideraram uma ideia essencial para poder analisar o papel dos signos e de suas representações no conhecimento em geral. Peirce ajuda a compreender os critérios que podem classificar os diversos tipos de representações simbólicas. Saussure ajuda a compreender os processos de discriminação que permitem reconhecer as unidades de sentidos presentes em uma expressão ou em uma representação semiótica. Frege proporciona elementos para compreender os mecanismos de substituição ou de transformação próprios a cada tipo ou sistemas de representações na produção do conhecimento (DUVAL, 2011).

1.2.1. A Semiótica em Peirce

Nas obras de Peirce, com sua teoria dos signos, é possível observar um complexo, porém abrangente estudo sobre a natureza do signo e suas relações

triádicas ou tricotomias, que induzem a uma profunda compreensão da semiótica e, conseqüentemente, dos signos.

É de fundamental importância um aprofundamento no conhecimento do signo na perspectiva da semiótica. Segundo a metodologia de pesquisa adotada, são estes fundamentos que guiarão a pesquisa nas determinações dos graus de iconicidade, congruência semântica, correspondência semântica, bem como as possibilidades de conversão, formação e tratamento pertinentes a mobilização do conhecimento por intermédio dos registros de representações semióticas e na análise das imagens como um todo em suas determinadas categorias.

A congruência semântica, muito trabalhada na obra de Duval (2011), segundo o autor, durante a aprendizagem das ciências exatas, e a operação com os diversos registros de representações semióticas nelas constantes, a passagem de um sistema de representação a outro ou a mobilização simultânea de vários sistemas de representação no decorrer de um mesmo percurso, não tem nada de espontâneo para a maior parte dos alunos e dos estudantes. Esses frequentemente não reconhecem o mesmo objeto através das representações que lhes podem ser dadas nos diferentes sistemas semióticos: a escritura algébrica de uma relação e sua representação gráfica, a escritura numérica de um relatório e sua representação geométrica sobre uma reta ou plano, o enunciado de uma fórmula em português, a escritura dessa fórmula em forma literal, e uma separação ainda persistem mesmo após o processo de ensino articulado com os diversos registros de representações, exigindo do professor um conhecimento aprofundado dos parâmetros de utilização subjacente a cada sistema semiótico. (DUVAL, 2011).

Assim, o autor aborda essa questão a partir dos fenômenos de não-congruência entre as representações de um mesmo objeto, ou fenômeno. A passagem de uma representação à outra de modo espontâneo dá-se acompanhada pelo fenômeno de congruência quando satisfeitas três condições: correspondência semântica entre as unidades significantes que as constituem, mesma ordem possível de apreensão dessas unidades, e conversão de uma unidade significativa da representação de partida em uma só unidade significativa na representação de chegada.

Assim, tratar essa problemática a partir da perspectiva da teoria semiótica se mostra uma abordagem didaticamente promissora, pois, possibilita que os responsáveis pelo ensino se deparem com mais uma estrutura de enriquecimento didático para a condução do processo de ensino/aprendizagem. O ícone, que participa de uma das mais fundamentais tricotomias na obra de Peirce, define a categoria iconicidade das figuras, ou imagens e assume um papel central na questão da congruência semântica.

Para Peirce (2010), um signo ou *representâmen*, é aquilo que, sob certo aspecto ou modo, representa algo para alguém, denotando um elemento perceptível ou imaginável. Dirige-se a alguém criando na mente desta pessoa um signo equivalente. Este signo criado é o *interpretante* deste primeiro signo. O signo representa alguma coisa, ou seja, seu *objeto*.

O signo é então divisível conforme três tricotomias, a primeira, designando o signo conforme uma qualidade, um existente concreto ou uma lei geral (qualissigno, sinsigno e legissigno). A segunda conforme a relação existencial do signo com o objeto, consigo mesmo ou com um interpretante (ícone, índice ou símbolo). E a terceira conforme seu interpretante representá-lo como um signo de possibilidade ou como signo de fato ou um signo de razão (rema, dicente e argumento).

A figura 1.2 apresenta a principal tricotomia de Peirce, a relação entre Signo (representamen), Objeto e Interpretante.

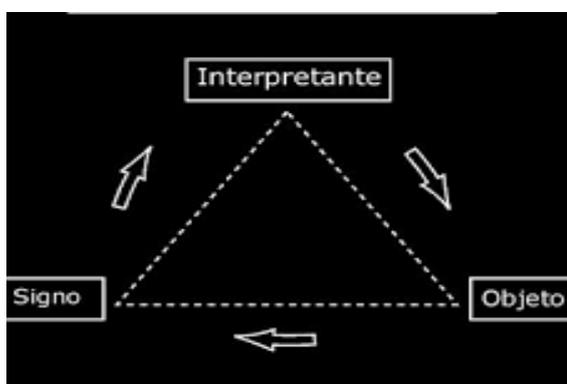


Figura 1.2: Esquema da principal tricotomia de Peirce.

Fonte: adaptação de PEIRCE (2003)

Para os elementos representados na figura, destacam-se as definições:

- **Representamen:** aquilo que é perceptível no contexto considerado, representa algo.
- **Objeto:** a coisa propriamente dita.
- **Interpretante:** imagem criada na mente, significado construído pelo que vemos ou imaginamos.

A figura 1.3 e o quadro 1.1 esquematizam, de forma aproximada, as tricotomias de Peirce. Sinteticamente, o signo, a coisa significada e a cognição produzida na mente, podem ser expressas nas seguintes relações:



Figura 1.3: Esquema das tricotomias de Peirce.

Fonte: adaptação de PEIRCE (2003,p. 51)

- **Ícone:** Signo que possui semelhança com o objeto representado, tais como diagramas, esquemas e figuras geométricas representativas.
- **Índice:** Relação direta com o objeto, indicando que algo aconteceu ou acontecerá, por intermédio da razão discursiva, ou métodos de raciocínio, pode atrair a atenção ao objeto do discurso sem descrevê-lo.
- **Símbolo:** Relação convencionada, há um consenso coletivo em relação ao seu significado, tais como os símbolos matemáticos, as equações e fórmulas ou letras gregas que assumem papéis de variáveis e constantes nas equações, ou as próprias palavras.
- **Qualissigno:** Designa qualidade, não pode realmente atuar como signo até que se corporifique, ou seja, esteja indissoluvelmente associada a um signo.
- **Sinsigno:** é um acontecimento real, como o presenciado ao observar os efeitos da corrente elétrica sobre uma agulha magnetizada, ou no funcionamento do amperímetro, por exemplo.
- **Legissigno:** são as leis, sejam elas pertinentes ao código civil, ou cultural e científica. A lei de Lenz, diz que “ a força eletromotriz induzida tem sentido tal que se opõe, ou tende a se opor á variação que á produz”, é um exemplo de lei científica no campo dos estudos da indução magnética.
- **Rema:** são as possibilidades presentes no signo, ou possibilidades das múltiplas representações.
- **Dicente:** são enunciados, apresentados na forma real, tais como imagens textos ou fotografias.
- **Argumento:** justificativa textual que acompanha o dicente, ou a conclusão formulada que tem relação direta com o interpretante, pois a conclusão é a imagem formada na consciência daquele que interpreta o signo.

A figura 1.4 ilustra o fenômeno da indução magnética. Um pesquisador movimenta a sua mão segurando um ímã no interior de uma bobina, provocando a circulação de uma corrente elétrica no circuito fechado, detectada pelo amperímetro em série com o circuito elétrico. Nessa figura, o *representamen* é a movimentação da mão do pesquisador que provoca o surgimento da corrente elétrica, o objeto é todo o conjunto na fotografia e o interpretante está associado à imagem criada na mente pela imaginação do leitor.

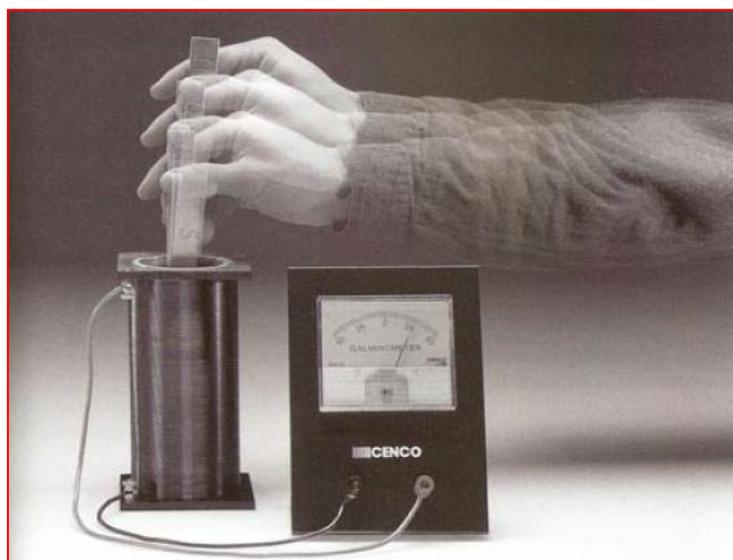
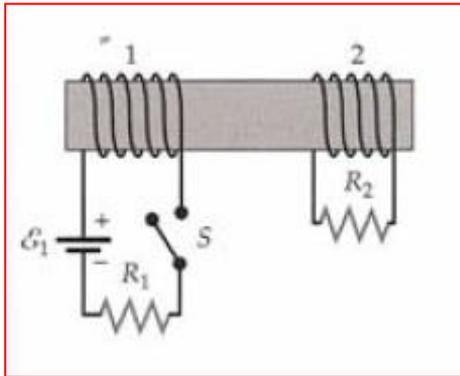


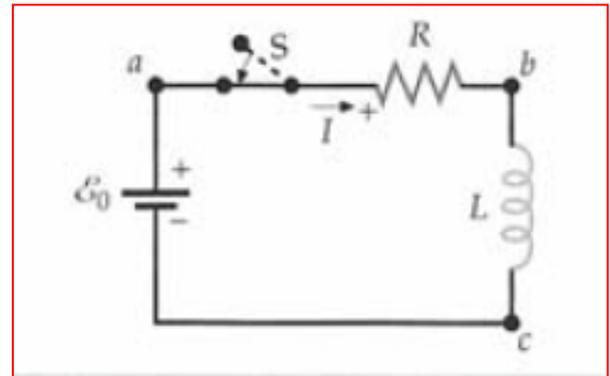
Figura 1.4: Ilustração da Indução magnética. Fonte: TIPLER (2009, p. 261)

A movimentação do ponteiro do amperímetro da figura 1.4 é um índice, pois indica a passagem de uma corrente elétrica pelo circuito.

A figura 1.5 (a) ilustra o ícone de duas bobinas instaladas em torno de um núcleo magnetizável identificadas como 1 e 2. A figura 1.5 (b) mostra o símbolo de uma bobina instalada em um circuito fechado, identificada como L. É uma representação convencionalmente coletivamente entre os membros de uma comunidade: Físicas, técnicos, Engenheiros etc.



1.5 a



1.5 b

Figura 1.5 : representações de uma bobina em um circuito elétrico. Fonte: TIPLER (2009).

Quadro 1.1. Síntese das três tricotomias de Peirce

| | Signo em relação a si mesmo | Signo em relação ao objeto | Signo em relação ao interpretante |
|----|-----------------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 1º | quali-signo | ícone | rema |
| 2º | sin-signo | índice | dicente |
| 3º | legi-signo | símbolo | argumento |

Peirce (2010) aproximando da semiótica de Santo Agostinho (354-430) elabora e propõe essa complexa estrutura do signo. Seu discurso concorda com as afirmações provenientes da semiótica agostiniana, ao dizer que:

- “Chamamos de signo a tudo o que significa algo, e entre estes encontramos também as palavras”;
- “Toda palavra é signo, mas nem todo signo é palavra”;
- “Ainda chamamos signos (insígnias) as bandeiras militares, que são signos em sentido próprio, coisas que não se poderia dizer das palavras”;
- “Quando se escreve uma palavra, apresenta-se para os olhos um signo, que desperta na mente o que se percebe com o ouvido”;

- “A função do signo é significar coisas ou estados da alma”.

Como é possível observar nessa pequena síntese, embora reducionista (reducionismo necessário, pois, um aprofundamento teórico tomaria dimensão que em função da complexidade não seria admitida neste capítulo), é possível perceber que sua classificação não é elementar, pois Peirce quis fazê-la por intermédio de um processo triádico de interpretação, levando a distinguir vários níveis hierárquicos de signos, conferindo abrangência e aprofundamento teórico associado a uma elegante sofisticação. Este esquema triádico de análise repousa sobre uma abordagem pragmática do que é o conhecimento, assim a formação do conhecimento é distinguida em três fases: primária, secundária e terciária, ou seja, o próprio objeto, a representação do objeto e a interpretação do objeto por um intérprete. No ensino de física a representação dos objetos está generalizadamente presente, e a distinção entre o objeto e suas múltiplas representações constitui um dos principais limitadores no processo de ensino/aprendizagem.

Assim, Peirce foi o primeiro a reconhecer uma variedade de signos em um sistema semiótico, em uma classificação elaborada no quadro da lógica que contribuiu para fundar a semiótica, porém deixou na sombra o que produz a fecundidade e a complexidade dessa variedade: as relações possíveis entre sistemas semióticos e a possibilidade de converter uma representação formada em um sistema em outra representação em outro sistema, como gráficos que são convertidos em equações, ou equações em gráficos, esquemas convertidos em figuras ou figuras em esquemas, entre outras conversões mais óbvias ou menos transparentes. Essas questões foram tratadas, sobretudo, nos contornos das reflexões pós-saussureanas de Benveniste (1974).

Os limites da classificação de Peirce se acentuavam no quadro da lingüística ao considerar a língua natural como “a organização semiótica por excelência”, de acordo com as reflexões de Benveniste. A classificação proposta por Peirce era muito geral para poder designar à língua natural um lugar específico e partir dela destacar características próprias. É no contexto da semiótica social, que as reflexões voltadas às atividades cognitivas relacionadas à conversão e tratamento entre sistemas semióticos tornam-se expressivas.

1.2.2. A Semiótica Social: Superando Limitações

Para Bakhtin (1929), a linguística de Saussure e seus herdeiros, que se ocupam com a semiótica tradicional, fazem da língua um objeto abstrato ideal, que se consagra a ela como sistema sincrônico homogêneo rejeitando suas manifestações individuais, a fala. O sistema linguístico constitui, assim, um fato objetivo externo à consciência individual e independente desta, ou seja, características que moldam o pensamento no objetivismo abstrato. Um dos grandes problemas da filosofia da linguagem é determinar qual é o modo de existência da realidade linguística: a fala, ou o sistema da língua? A evolução criadora ininterrupta ou a imutabilidade das normas? E é no âmbito dessa discussão que de um lado têm-se as teses do subjetivismo individualista e do outro as antíteses do objetivismo abstrato.

Segundo Bakhtin (1929), a separação da língua de seu conteúdo ideológico é um dos erros mais grosseiros do objetivismo abstrato, argumentando que a verdadeira natureza da língua consiste na interação verbal, e que todo itinerário que leva a atividade mental, situa-se no terreno social.

Por outro lado, o subjetivismo individualista só leva em consideração a fala para determinar o modo de existência da realidade linguística, tentando explicá-la a partir das condições da vida psíquica individual do sujeito falante. O subjetivismo individualista termina por não resistir a críticas assim como no objetivismo abstrato, embora tenha razão ao enfatizar o caráter ideológico da fala, está errado ao dizer que este conteúdo ideológico pode ser deduzido do psiquismo individual. O ato da fala, a enunciação, não pode de forma alguma ser considerado como individual, no sentido estrito do termo, não podendo ser explicada a partir das condições psicofisiológicas do sujeito falante, assim, a enunciação, ou a fala, é de natureza social (BAKHTIN, 1929).

Bakhtin (1929), depois de feita a crítica ao objetivismo abstrato e ao subjetivismo individualista, enfatiza e valoriza justamente a fala, a enunciação e considera a sua natureza social. A fala está ligada às condições da comunicação,

que por sua vez estão ligadas às estruturas sociais, que são historicamente constituídas.

Outro aspecto que não pode passar a margem nesta pesquisa, em relação ao caráter histórico do signo, está relacionado ao próprio desenvolvimento da ciência. Segundo Thomas khum (2012) o desenvolvimento da ciência é apresentado em termos de revoluções científicas, obedecendo a estrutura: ciência normal como um paradigma e dedicação para solucionar quebra-cabeças; seguida de sérias anomalias, que conduzem para uma crise; e finalmente resolução da crise por intermédio de um novo paradigma. Neste movimento histórico, é apresentada a incomensurabilidade, em que novas ideias e asserções não podem ser comparadas às antigas, ainda que apresentadas com as mesmas palavras, o seu significado mudou.

As mesmas palavras, os mesmos atos, muitas vezes têm mais de uma função, fazem vários trabalhos ao mesmo tempo. Lemke (1990) aponta, ainda, que pode ser difícil ou impossível ensinar um padrão temático uma peça de cada vez, porque muitas vezes toma um domínio de todo o padrão antes que qualquer uma de suas partes pareça fazer sentido. Não é apenas na ciência que encontramos conceitos que só podem ser plenamente compreendidos em termos um do outro: cada peça do quebra-cabeça só faz sentido se você já possui todas as outras peças. Este é um dos problemas fundamentais do ensino da ciência e, de fato, do ensino e da comunicação em geral.

É neste contexto que se estabelece a Semiótica Social, uma teoria que estuda os processos de compartilhamento, negociação e produção de sentidos e significados entre sujeitos que interagem uns com os outros, em um dado contexto sócio histórico, por meio de modos de comunicação verbais, visuais, gestuais e acionais (FONSECA, 2014).

A Semiótica Social, ao contrário da semiótica tradicional, considera todo e qualquer signo socialmente motivado e capaz de exercer um papel de mediação social na construção da vida de uma comunidade. A Semiótica Social é considerada por Lemke (1990) como uma nova teoria, uma síntese teórica da semiótica tradicional que proporciona uma nova maneira de olhar para as formas de

construção de significados, interessando-se pelas formas como as pessoas usam os signos em uma dada comunidade.

A Semiótica Social não deixa de ter suas origens a partir da Semiótica tradicional, Linguística, Antropologia Cultural, Etnografia e Sociologia Crítica, sendo assim considerada por Lemke (1990) como uma síntese teórica que proporciona uma nova maneira de olhar para as formas de construção de significados. Este autor assim se referiu àquilo que, na época, era uma nova área da Semiótica:

Essa nova teoria ainda está incompleta, mas eu acredito que ela é o alicerce sobre o qual as Ciências Sociais do futuro serão construídas. Por ser tão nova, e ainda inacabada, ela ainda não tem um nome comumente aceito. Seguindo o exemplo do linguista Michael Halliday e outros, vou chamá-la Semiótica Social (...). (LEMKE, 1990, p. 183).

Lemke (1990) entende a *Semiótica* como o estudo dos sistemas de signos e símbolos e como nós os utilizamos para comunicar significados, mas ressalta que a Semiótica Social ultrapassa o objeto de estudo da Semiótica Formal, aquela nos contornos do objetivismo abstrato de Bakhtin, ao se interessar pelas formas como as pessoas usam os signos em uma dada comunidade. Em autores como Peirce (1958) ou Saussure (1916) muitos signos são considerados como convencionais e arbitrários. Na Semiótica Social, ao contrário, todo e qualquer signo é socialmente motivado e exerce um papel de mediação social na construção da vida de uma comunidade. A esse respeito, Kress e van Leeuwen (1996, p. 8) vão nos dizer que:

Os signos nunca são arbitrários, e a 'motivação' para sua concepção e uso deve ser formulada em relação ao contexto no qual o signo é produzido, e não de forma isolada do ato de produzir analogias e classificações. Os produtores de signos usam as formas que consideram aptas para a expressão de seus significados, em qualquer meio no qual eles podem produzir signos.

Fundamentados, principalmente, nos trabalhos de Vigotski e Bakhtin, que assumem a centralidade dos usos sociais da linguagem, os pesquisadores passaram a entender a aprendizagem em ciências como um processo de

enculturação na linguagem e nas práticas dos cientistas. A esse respeito, Driver *et al.* (1999) nos dizem que:

Aprender Ciências envolve a introdução das crianças e adolescentes a uma forma diferente de pensar sobre o mundo e explicá-lo; é tornar-se socializado, em maior ou menor grau nas práticas da comunidade científica, com seus objetivos específicos, suas maneiras de ver o mundo e suas formas de dar suporte às assertivas do conhecimento. (DRIVER *et. al.* 1999, p.36).

Mas aprender Ciências é também aprender a se comunicar, aprender a falar ciências, defende Lemke (1997, apud Cardoso, 2015) apresentando assim uma visão semiótica social de ensino.

Falar ciência não significa simplesmente falar acerca da ciência. Significa fazer ciência através da linguagem. Falar ciência significa observar, descrever, comparar, classificar, analisar, discutir, fazer hipóteses, teorizar, questionar, desafiar, argumentar, desenhar experimentos, seguir procedimentos, julgar, avaliar, decidir, concluir, generalizar, informar, escrever, ler e ensinar através da linguagem da ciência. (LEMKE, 1997, apud CARDOSO, 2015, p.21).

O referido autor argumenta que o significado dos termos científicos não pode ser compreendido de maneira isolada, devendo estar relacionado com outros e em vários contextos. Só assim o aluno vai poder falar ciências, articulando conceitos e não repetindo o seu significado.

É possível que o aluno conheça as definições das seguintes palavras: 'elétron', 'elemento' e 'orbital', mas isso não significa que seja capaz de utilizar as três palavras corretamente dentro de uma oração ou de explicar como seus significados se relacionam. Para fazer isto, se requer ter o conhecimento adicional de como se utilizam estas palavras ao falar cientificamente. (LEMKE, 1997, apud CARDOSO, 2015).

Para LEMKE (2010, p.456) não se pode construir significados com a língua de forma isolada, ou seja, sempre é preciso que haja uma realização visual ou vocal de

signos linguísticos que também carrega significado não-linguísticos, como por exemplo, o tom da voz ou estilo da ortografia. Por outro lado, para funcionarem como signos, “os signos devem ter alguma realidade material, mas toda forma material carrega, potencialmente, significados definidos por mais de um código. Toda semiótica é semiótica multimídia e todo letramento é letramento multimidiático”.

O ensino de ciências é fortemente marcado pela construção de novos conceitos e pela apropriação de formas específicas do discurso, assim, segundo Fonseca (2014), estudos apontam para a necessidade de ampliarmos as investigações sobre os processos de compartilhamento, negociação e produção de sentidos e significados na sala de aula, para além do foco predominante que foi dado à linguagem, ao longo da década de 1990. É necessário, então, atentar-se à utilização de gestos, às interações com objetos ou com imagens, ao comportamento proxêmico, às mudanças na postura corporal, ao olhar e aos movimentos da cabeça, que passaram a ser considerados como modos de comunicação.

Uma lição é uma atividade social. Tem um padrão de organização, uma estrutura. Eventos de tipos específicos tendem a se seguir em uma ordem mais ou menos definida. Tem um começo e um acabamento. Mas, como todos os outros tipos de atividades sociais, é uma construção social humana. As pessoas precisam fazer algo para começar, promulgar um tipo de evento após o outro e chegar ao fim (LEMKE, 1990).

Com as diferentes formas dos discursos, as imagens passam, então a assumir um importante papel na educação. As imagens ocupam grande parte da superfície dos livros didáticos, mas nem sempre é fácil avaliar a sua pertinência e qualidade, especialmente pelo fato de que há uma tendência em se acreditar que a imagem é transparente, que fala por si, que proporciona uma compreensão imediata, dispensando esforços cognitivos, ou que não é um produto constituído sócio-historicamente (REGO, 2011). Vários autores (CASSIANO, 2002; ZIMMERMANN E EVANGELISTA, 2006; REGO, 2011; MARTINS, GOUVÊA E PICCININI, 2005, entre outros) já se dedicaram a estudar o papel das imagens em livros didáticos brasileiros.

As imagens dos livros didáticos são importantes recursos de representação semiótica para a comunicação, constituição e conceitualização de ideias científicas. (MARTINS, GOUVÊA & PICCININI, 2005). Para determinados conceitos, como por exemplo, campos elétricos e magnéticos, é indiscutível a sua importância para a visualização e inteligibilidade.

A atenção a esse conjunto de modos de comunicação parte do pressuposto de que o ato de aprender ciências não é uma realização puramente linguística e sim multimodal, já que envolve a interação de professores e estudantes com um amplo repertório de sistemas de representação, a partir dos quais o conhecimento científico escolar foi construído e é disponibilizado no plano social da sala de aula (FONSECA, 2014).

Portanto, em Bakhtin (1929) encontram-se fundamentos para essa nova teoria, pois segundo ele, a significação é afetada por: entonação expressiva, conteúdo ideológico e relacionamento com uma situação social determinada. É na dialética que se encontra apoio para resolver a questão da pluralidade e unicidade da significação. Enquanto o Objetivismo abstrato, fortemente marcante na semiótica de Saussure favorece arbitrariamente a unicidade, a fim de “prender a palavra em um dicionário”, o signo é plurivalente, vivo e móvel.

A construção de significados envolve a translação entre os modos de comunicação, combinação de palavras, imagens, formas gráficas e matemáticas e, em muitos casos, o uso de múltiplos modos semióticos, muito comum no ensino de ciências, tais como fotografias, gráficos, diagramas, esquemas e tabelas. (FONSECA, 2014)

Além dessa multiplicidade, as atividades científicas têm como característica o uso simultâneo destes modos semióticos. Para Lemke (2010), não se pode construir significado com a língua de forma isolada, todos os modos ou formas de registros semióticos devem ser considerados neste processo. Em um contexto de transmissão de significados, construção de conceitos e aprendizagem, constantemente presente em sala de aula, a semiótica social revela-se altamente fecunda para o aprimoramento das atividades de ensino aprendizagem.

Lemke (1990, p. 11) introduz a questão da comunicação na sala de aula buscando responder os diversos aspectos que influenciam o ensino aprendizagem quando se fala em ciências, a partir de questões fundamentais, tais como: “Como comunicamos ideias? Por que a comunicação funciona tão bem às vezes, e falha tão mal em outros tempos?”. Ainda, em relação á comunicação o autor também questiona: “Quais são as dificuldades mais básicas na comunicação de conceitos científicos e técnicos? Como os professores comunicam ciência na sala de aula? Por que alguns alunos conseguem dominar a ciência, enquanto muitos outros acham difícil e frustrante? Que atitudes e valores são transmitidos na sala de aula de ciência, juntamente com a ciência que é aprendida?”

Os valores que cada indivíduo carrega consigo, podem provocar a alienação em relação à ciência. A sala de aula não está isolada das atitudes, valores e interesses sociais da comunidade maior. Professores e alunos trazem estes com eles para a sala de aula. A própria educação científica tenta ensinar certos valores, e esses valores nem sempre concordam com os valores dos alunos ou com os pontos de vista dos alunos sobre seus próprios interesses. Ao ensinar o conteúdo do currículo de ciências e os valores que frequentemente acompanham a educação científica, às vezes inconscientemente, também perpetua uma "mística da ciência" prejudicial, que tende fazê-la parecer dogmática, autêntica, impessoal e até desumana para muitos estudantes retratando a ciência como sendo muito mais difícil do que é, e os cientistas como sendo gênios com os quais os estudantes não podem se identificar. Isso aliena os alunos da ciência, e é preciso superar essa condição social que permeia as práticas de ensino. (LEMKE, 1990)

Os contornos sociais que conduzem a essa alienação, é explicado por Bakhtin ao dizer que a palavra é a arena onde se confrontam os valores sociais contraditórios; os conflitos da língua refletem os conflitos de classe no interior de um sistema. A comunicação verbal, inseparável das outras formas de comunicação, implica conflitos, relações de dominação e de resistência, adaptação ou resistência à hierarquia e a utilização da língua pela classe dominante para reforçar seu poder. Diferenças de classe correspondem a diferenças de registros ou de sistema. Todo signo é ideológico; ideologia é um reflexo de classes sociais; assim, modificações na ideologia encadeia uma modificação da língua. Todo este raciocínio, sob o ponto de

vista ideológico e dialético conduz ao conceito de flexibilidade do signo, do enunciado e da comunicação. Todo itinerário que leva a atividade mental situa-se no território social, em uma clara alusão ao caráter social do signo, do discurso e da linguagem, afirmando ainda que a natureza da enunciação é social e a verdadeira natureza da língua é a interação verbal.(BAKHTIN, 1929).

Assim, o discurso e a semântica estão sujeitos às influências sociais que no extremo podem se tornar barreiras a serem superadas nos processos de aprendizagem pelo escolar, bem como do ensino por parte do professor. A comunicação se estabelece em seus mais variados meios, tais como entonação de voz, altura da voz, gesticulação, aproximação e postura do professor, e de maior interesse nesta pesquisa, pelas imagens. Os conteúdos imagéticos operam como uma genuína fonte de compartilhamento de significados, altamente expressivo no ensino de ciências, em especial da Física.

Assim, cabe reforçar o cuidado que o professor deve tomar ao planejar, selecionar e utilizar, de forma coordenada, os diversos modos semióticos para ampliar as possibilidades de aprendizagem dos estudantes. De maneira frequente e equivocada, há professores que utilizam uma sucessão de múltiplas representações e assumem que os estudantes são capazes de integrá-las facilmente para formar o significado do conceito como um todo. Todavia, o professor deveria se perceber como um mediador central dos processos de comunicação e compreender que a integração de múltiplos modos de comunicação, tendo em vista a construção de um conceito, não é uma tarefa trivial (Lemke, 2000).

Um conceito apresentado de forma não criteriosa durante as atividades de ensino aprendizagem, sejam nos livros didáticos, no quadro negro ou nos projetores de imagens podem não surtir o efeito desejado, devido às limitações que podem ser destacadas no contexto do objetivismo abstrato ou à luz da teoria dos signos. Assim, a voz, a entonação da fala, a aproximação com o aluno, o contexto e os exemplos aplicados, os gestos utilizados, e até mesmo a postura do professor passam a ser considerados para que o professor atinja seus objetivos nos contornos da didática. Ajudar os professores e responsáveis pelo ensino a se aproximarem destes critérios constitui uma das importâncias fundamentais em evidência na Semiótica Social.

Partindo da semiótica tradicional, fundamentada nesta pesquisa principalmente nas formulações de Charles Sanders Peirce e apostando concomitantemente na semiótica sócia, fundamentada principalmente em Jay Lemke, fica evidente que esta última não invalida a primeira, mas pelo contrário, a complementa para uma interpretação mais profunda e abrangente das questões em investigação.

No próximo item, fomos buscar autores que analisaram imagens em livros didáticos de forma a conhecer os aspectos relevantes das imagens nos livros didáticos, considerados por eles.

1.3. PRODUÇÃO ACADÊMICA SOBRE IMAGENS EM LIVROS DIDÁTICOS

Além da fundamentação teórica sobre a semiótica clássica e a semiótica social, fomos buscar na literatura autores que também se dedicaram à análise de imagens em livros didáticos. A pesquisa foi desenvolvida a partir de algumas palavras-chave em sítios de busca na internet. Muitos pesquisadores têm se dedicado a estudar as imagens em livros didáticos, como é possível de ser observado no quadro 1.2 Foram obtidos 38 referências a partir das seguintes palavras-chave:

- imagem; livro didático de física; ensino de física; memória; representação.
- letramento multimidiático; letramento metamidiático; semiótica multimidiática.
- Livro didático, História da Física, Ensino de Física.
- Registros de Representação Semiótica; Livros Didáticos.
- Classroom Discourse, Curriculum Analysis, illustrations.
- appropriate text, tests, illustrations, and learners.
- semiótica, imagem, ensino de ciências.
- imágenes; textos de Física; enseñanza de Física.
- libro de texto, tecnología, ilustraciones, taxonomía.

As palavras chaves foram utilizadas nos sítios de busca abaixo relacionados, cabendo esclarecer que alguns sítios disponibilizam os conteúdos assinados quando acessados a partir de uma instituição credenciada, como é o caso do sítio <http://www.periodicos.capes.gov.br/> , os demais utilizados na pesquisa foram:

- <http://bancodeteses.capes.gov.br/banco-teses/#/>
- <http://capesdw.capes.gov.br/capesdw/>
- <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/list.php?tid=7>
- <http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/list.php?tid=27>
- <http://www.teses.usp.br/>
- <https://tede2.pucsp.br>
- Teses Universidade Federal de Santa Catarina
- <https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/74645>
- <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/1>
- <http://www.periodicos.capes.gov.br/>
- <http://www.scielo.org/php/index.php>
- <http://www.scielo.br/?lng=pt>
- <https://scholar.google.com.br/>

Entretanto, muitos não fazem uso da semiótica em suas análises. Observando-se o quadro 1.2., nota-se um desenvolvimento progressivo de produção de trabalhos relacionados ao tema, porém com um número ainda limitado de artigos publicados.

Feita a leitura dos resumos, alguns trabalhos foram destacados em função de sua pertinência para o desenvolvimento da pesquisa. Um deles, o trabalho de Bungum (2008) considera as imagens como forma importante de comunicação e essa comunicação pode ser descrita em termos de conceitos correspondentes a esquemas gramaticais linguísticos, como uma semiótica denominada "semiótica visual". (KRESS e van LEEUWEN, 1996, apud BUNGUM, 2008).

As imagens nos livros de física, segundo o autor, podem ser caracterizadas em 5 categorias:

Modo 1: envolvendo o aprendiz em experimentos: Essas imagens são caracterizadas por serem realistas com enquadramento fraco, especialização em alto conteúdo, mas de baixa formalidade.

Modo 2: Visualizando um mundo de modelos: as imagens pretendem representar modelos teóricos de fenômenos por meios visuais. Essas podem ser aparentemente realistas, mas ainda representam convenções sobre como o mundo é percebido pela física.

Modo 3: exibir a aparência visual dos objetos: O objetivo é familiarizar o aluno com objetos específicos importantes em física.

Modo 4: tradução entre representações: Um híbrido das imagens convencionais e realistas dá origem a um modo específico de visualização, cujo papel é fazer uma tradução entre as duas formas de representar o mundo.

Modo 5: Demonstrando relevância e uso: Essas imagens demonstram para o aluno como o assunto apresentado apresenta relevância e é usado na sociedade e no cotidiano, apresentando objetos e sistemas conhecidos pelo aluno. Estas contribuem para uma redução da formalidade e do enfraquecimento do enquadramento no texto como um todo.

A figura 1.5 traz imagens figurativa, híbrida e esquemática, comuns em livros de física. Na figura 1.5 (a), a perspectiva e a riqueza de detalhes tornam os objetos aparentes para o leitor da maneira que pareceria se experimento foi realizado pelo próprio leitor.

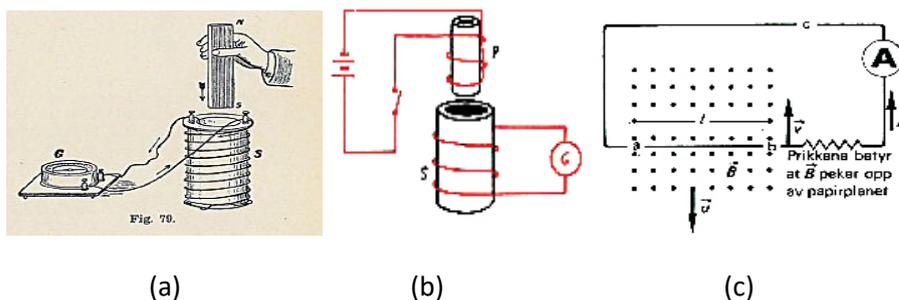


Fig. 1.5 a) Experiência de Faraday com imagem figurativa, imitando a realidade, com a mão (possivelmente de um homem destro) indicando o movimento do ímã; b) Experiência de Faraday com imagem híbrida (figurativa e esquemática, sendo o ímã da figura (a) substituído por um eletroímã; c) Experiência de Faraday com imagem esquemática, sendo a variação do campo magnético indicada pelo vetor velocidade v .

Fonte: Bungum (2008, p.135)

Outro trabalho analisado e que se mostrou importante para a pesquisa foi o de Perales e Jimenez (2002) que traz uma taxonomia para a categorização das imagens da área de Mecânica, que foi aplicada para uma amostra de sete livros do ensino secundários. Os autores, após a análise, apresentam uma discussão e conclusões para a melhoria das imagens.

O artigo de Santos (2011) apoia-se na teoria semiótica de Reymond Duval para investigar as dificuldades encontradas pelos alunos de ensino médio em resolver problemas de física. A autora aponta que o fator a ser levado em consideração é que a maioria das tarefas de Física depende das conversões e não dos tratamentos. Assim, pode-se concluir que na disciplina de Física, muitas vezes o conhecimento e memorização de fórmulas não é o suficiente para a resolução da tarefa. O importante é transitar entre os diferentes registros que se pode ter de um mesmo objeto matemático.

Outros trabalhos da relação do Quadro 1.2 foram considerados no momento da análise e discussão dos resultados. O quadro está organizado em:

- Título da Pesquisa: É o título da Pesquisa conforme a publicação.
- Autor: Nome dos autores.

- Tipo: Categoria do trabalho científico, especifica se é artigo, dissertação de mestrado ou tese de doutorado.
- Origem: Quando publicação está vinculada a uma revista especializada, traz o nome da revista, em caso de acesso diretamente na biblioteca digital da universidade, traz o nome da universidade.
- Data: data de publicação do trabalho.
 - Palavras-chave: palavras-chave que ajudaram a localizar o trabalho.
 - Semiótica: Faz referência a abordagem da teoria Semiótica. Se o trabalho está fundamentado na teoria Semiótica, essa coluna está assinalada como “sim”, em caso contrário, está assinalada como “não”.

Quadro 1.2: Pesquisas desenvolvidas abordando imagens e ilustrações em livros didáticos.

| Título da Pesquisa | Autor | Tipo | Origem | Data | Palavras-chave | Semiótica |
|--|---|-------------|--|-------------|---|------------------|
| When is an Illustration worth ten Thousand words | Richard E. Mayer; Joan K. Gallini | artigo | Journal of educational Psychology, 1990, v.82, n4, 715-726 | 1990 | appropriate text, tests, illustrations, and learners | Não |
| Imagem e Ensino De Ciências: Análise de Representações Visuais Sobre DNA E Biotecnologia Segundo | Tânia Aparecida da Silva Klein; Carlos Eduardo Laburú | artigo | VII Empec, 8 nov. 2000 | 2000 | semiótica, imagem, ensino de ciências | Não |
| La evidencia experimental a través de la imagen de los libros de texto de Física y Química | Juan de Dios Jiménez Valladares y Francisco Javier Perales Palacios | artigo | Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 1, Nº 2, 114-129 (2002) | 2002 | libros de texto, ilustraciones, actividades experimentales, enseñanza de la física, educación secundaria. | Não |
| El Uso de Imágenes en Textos De Física Para la Enseñanza Secundaria y Universitaria | Maria Rita Otero, Marco Antonio Moreira, Ileana Maria Greca | artigo | Investigações em Ensino de Ciências – V7(2), pp. 127-154, 2002 | 2002 | imágenes; textos de Física; enseñanza de Física. | Não |
| Imágenes visuales en el aula y rendimiento escolar en Física: un estudio comparativo | Maria Rita Otero, Ileana Maria Greca y Fernando Lang da Silveira | artigo | Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 2, Nº 1, 1-30 (2003) | 2003 | enseñanza de la Física, imágenes externas, modelo mental, representación mental, software educativo. | Sim |
| Introducing Social Semiotics | Theo van Leeuwen | artigo | Centre for Language and Communication Research at Cardiff University, UK. | 2003 | text, tests, illustrations, ilustrations | Sim |
| Visual Social Semiotics: Understanding How Still Images Make Meaning | CLAIRE HARRISON | artigo | Technical Communication Volume 50, Number 1, February 2003 | 2003 | Classroom Discourse, Curriculum Analysis, illustrations, | Sim |

| | | | | | | |
|--|--|-------------|--|------|--|-----|
| A Noção De Integral Em Livros Didáticos e os Registros de Representação Semiótica | Carlos Antônio da Silva | dissertação | PUC/SP | 2004 | integral, livro didático, registro de representação semiótica, conversões | Sim |
| Las Imágenes en los Textos de Física: Entre el Optimismo e la Prudencia | Marai Rira Otero, Ileana Maria Greca | artigo | UFRGS | 2004 | imágenes; textos de Física; enseñanza de Física, psicología popular | Não |
| The Effects of Poasitive and Negative Illustrations on Text Recall | Krysta wasylenke, Nicole Tapajna | artigo | Univesity of Ottawa | 2004 | Classroom Discourse, Curriculum Analysis, illustrations, | Não |
| Las imágenes en Los Materiales Educativos: Las Ideas de los Profesores | Maria de los Ángeles Fanaro, María Rita Otero y Ileana María Greca | artigo | Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 4 Nº 2 (2005) | 2005 | concepciones, imágenes, profesores | Não |
| Apresentação Distorcida da Obra de Ampère nos Livros Didáticos | J. P. M. C. Chaib e A. K. T. Assis | artigo | Unicamp X Encontro de Pesquisa em Ensino de Física, Londrina, PR, 15 a 19/08/2006. | 2006 | Eletrodinâmica, lei de Ampère, força de Ampère, livros didáticos. | Não |
| Categorización de las Ilustraciones Presentes en Libros de Texto de Tecnología | Leticia Diaz y Susana Pandiella | artigo | Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias Vol. 6, Nº 2, 424-441 (2007) | 2007 | libro de texto, tecnología, ilustraciones, taxonomía | Não |
| As Várias Facetas do Termo Entropia. Será Difícil Entender este Conceito? | Alex Alves da Silva | tcc | Univ. Brasília | 2007 | Entropia, Conceito de Entropia, Ensino de Física, Livros Didáticos. | Não |
| O Conceito de Campo: Polissemia nos Manuais, Significados na Física Do Passado e da Atualidade | Sonia Krapase Marcos Corrêa da Silva | artigo | Ciência & Educação | 2008 | campo, polissemia, livros didáticos, história da ciência, transposição didática. | Não |

| | | | | | | |
|---|--|--------|--|------|--|-----|
| Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images in Norwegian physics textbooks | Berit Bungum | artigo | Dep. of Physics at The Norwegian University of Science and Technology in Trondheim | 2008 | Classroom Discourse, Curriculum Analysis, illustrations. | Sim |
| A Teoria Ondulatória de Huygens em Livros Didáticos para Cursos Superiores | Sidney Maia Araújo Fábio Wellington Orlando da Silva | artigo | Ciência & Educação, v. 15, n. 2, p. 323-41, 2009 | 2009 | Teoria ondulatória da luz. Ensino de Física. Ensino de Ciências. | Não |
| A escolarização dos Conteúdos Imagéticos da Biologia: Um Estudo das Práticas de Construção e Execução de Aulas pelo Professor de Biologia | Claudia Avellar Freitas | tese | UFMG | 2009 | Escolarização; Práticas de biologia; Educação | Sim |
| Memória e Representação: Imagens nos Livros Didáticos de Física | Guaracira Gouvêa, e Carmem Irene Correia Oliveira | artigo | Ciências & Cognição 2010; Vol 15 (3): 069-083 | 2010 | imagem; livro didático de física; ensino de física; memória; representação | Não |
| Letramento Multimidiático: Transformando Significados e Mídias | JAY L. LEMKE | artigo | Trab. Ling. Aplic., Campinas, 49(2): 455-479, Jul./Dez. 2010 | 2010 | letramento multimidiático; letramento metamidiático; semiótica multimidiática. | Sim |
| Uma Análise de Livros Didáticos de Física Das Décadas de 50 E 60 | Roberto B. Nicioli Junior Cristiano Rodrigues de Mattos | artigo | IFUSP | 2010 | Livro didático, História da Física, Ensino de Física, Cinemática. | Não |
| Função Modular: Análise de Livros Didáticos Segundo a Teoria dos Registros de Representação Semiótica | Andrea Priscila Luiz dos Santos, Silmara Alexandra da Silva Vicente | artigo | uniBan | 2010 | Registros de Representação Semiótica; Livros Didáticos; Função modular. | Sim |

| | | | | | | |
|--|--|--------|---|------|--|-----|
| O Teorema Fundamental do Cálculo e a sua Abordagem em Livros Didáticos à Luz da Teoria dos Registros de Representação Semiótica de Raymond Duval | Ronaldo Pereira Campos | artigo | PUC-SP | 2010 | Registros de Representação Semiótica; Livros Didáticos; Função modular | Sim |
| Analyzing The Diagrammatic Register in Geometry Textbooks: Toward a Semiotic Architecture | Justin Dimmel;Patricio Herbst | artigo | University of Michigan | 2010 | Geometry, Classroom Discourse, Curriculum Analysis | Sim |
| Os Registros de Representação Semiótica como Ferramenta Didática no Ensino da Disciplina de Física | Cintia Aparecida Bento dos Santos, Edda Curi | artigo | Revemat: R. Eletr. de Edu. Matem. eISSN 1981-1322. Florianópolis, v. 06, n. 1, p.1-14, 2011. | 2011 | Registros de representação semiótica. Ensino de física. Teorias didáticas. | Sim |
| Imagens Fixas no Ensino de Física: Suas Relações com o Texto Verbal em Materiais Didáticos e Padrões de Leitura de Licenciandos | Sheila Cristina Ribeiro Rego | tese | UFRJ | 2011 | imagem, Física, material didático, leitura, licenciandos | Não |
| Um Estudo Multimodal de Textos Didáticos sobre o Efeito Fotoelétrico | Esdras Garcia Alves | tese | UGMG | 2011 | multimodalidade; semiótica; ensino de física moderna e contemporânea | Sim |
| Representações Visuais em Livros Didáticos de Física para o Ensino Médio: Analisando Gráficos Cartesianos de Cinemática | Daniel Perdigão, Nassa Daniel, Michelle Zampieri Ipolito | artigo | Boa Prova Escola de Ciências e Instituto de Física de São Carlos da Universidade de São Paulo | 2012 | representações visuais, gráficos, livros didáticos | Sim |
| Imagens na Disciplina Escolar Física: Possibilidades de Leitura | Sheila Cristina R. Rego; Guaracira Gouvêa | artigo | Investigações em Ensino de Ciências – V18(1), pp. 127-142, 2013 | 2013 | imagem; Física; iconicidade; realidade; relação texto-imagem | Não |

| | | | | | | |
|---|--|-------------|---|------|---|-----|
| A Imagem da Ciência e as Imagens Visuais na Formação Superior e as Pesquisas sobre o Ensino de Física | Sheila Cristina Ribeiro Rego | artigo | Cad. Cedes, Campinas, v. 34, n. 92, p. 69-85, jan.-abr. 2014 | 2014 | Imagem. Livro didático. Física. Paradigma. | Não |
| Interações Multimodais em uma Sala de Aula de Biologia | Vanessa Avelar Cappelle Fonseca | dissertação | UFMG | 2014 | ensino de biologia, multimodalidade, semiótica social | Sim |
| Os Registros de Representação Semiótica nas Pesquisas em Matemática: Um Olhar para os Sistemas Lineares e Funções | Marinela da Silveira Boemo; Crístiam Wallao Rosa; Rita de Cássia Pistóia Mariani | artigo | II encontro nacional pibid matemática | 2014 | Registros de Representação Semiótica; Educação Matemática; Ensino Médio; Mapeamento. | Sim |
| O Cenário da Pesquisa no Campo da Educação Matemática à Luz da Teoria dos Registros de Representação Semiótica | Celia Finck Brandt Mércles Thadeu Moretti | artigo | Revista Do Programa De Pós-Graduação Em Educação Matemática Da Universidade Federal De Mato Grosso Do Sul (Ufms) Volume 7, Número 13 – 2014 | 2014 | Pesquisas. Registro de Representação Semiótica. Educação Matemática. | Sim |
| Las Ilustraciones en la Enseñanza-Aprendizaje de las Ciencias. Análisis de Libros de Texto | Perales, F. Javier Y Jiménez, Juan De Dios | artigo | Investigación Didáctica | 2014 | Didáctica de la física, educación secundaria, libros de texto, ilustraciones, taxonomía | Não |
| A teoria da Relatividade Restrita e os Livros Didáticos do Ensino Médio: Discordâncias sobre o conceito de massa | Wagner T. Jardim, Victor J. Vasquez Otoy, Cristiane Garcia S. Oliveira | artigo | Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37, n. 2, 2506 (2015) | 2015 | conceito de massa, equivalência massa-energia, livros didáticos de física. | Não |

| | | | | | | |
|--|---|--------|---|------|--|-----|
| Representações Presentes nos Livros Didáticos: Um Estudo Realizado para o Conteúdo de Ligação Iônica a Partir da Semiótica Peirceana | Karina Caixeta Scalco, Márcia Regina Cordeiro e Keila Bossolani Kiill | artigo | Ensino de Química em Foco | 2015 | semiótica peirceana, imagens, livro didático | Sim |
| Conceitos de força: Significados em Manuais Didáticos | Juliana Machado, Débora Beatriz Nass Marmitt | artigo | Revista Elec.de Enseñanza de las Ciencias Vol. 15, Nº 2, 281-296 (2016) | 2016 | ensino de física, livro didático, conceito de força. | Não |
| Visual Semiotics: How Still Images Mean? Interpreting Still Images By Using Semiotic Approaches | Alev Fatoş Parsa | artigo | Ege University (Turkey) | 2016 | Saussure, Ferdinand de (1985).; Lévi-Strauss, Claude | Sim |

Das 38 referências encontradas, 18 estão vinculadas à teoria Semiótica, dado que pode ser tomado como referência e motivação para o avanço dos estudos nessa linha de pesquisa, que tem se mostrado promissora e didaticamente fecunda.

Entre as principais publicações, encontram-se as do tipo artigo, 32 das publicações estão nessa categoria, com mais 2 dissertações de mestrado e uma tese de doutorado.

De acordo com Alves (2011) o livro didático, das mais diversas disciplinas, tem sido motivo de muitos trabalhos de pesquisa na área da educação. Tal interesse se justifica pela importância deste gênero em pelo menos três aspectos:

- i) Pelo aspecto histórico, ou seja, devido à relação entre esse material educativo e as práticas constitutivas da escola e do ensino escolar;
- ii) Pelo seu papel na preparação das aulas, sendo um recurso fundamental na mediação dos processos de ensino aprendizagem ao ser utilizado por professores na preparação de suas aulas, na organização dos conteúdos e

na seleção de exercícios e atividades para os alunos (MENDONÇA et al., 2004, p. 45);

- iii) Por constituir como um objeto cultural complexo cujas linhas de investigação tomam muitas formas: como mercadoria, como suporte de conhecimentos e métodos de ensino e como veículo de valores ideológicos ou culturais. Mendonça et al. (2004) afirmam, baseados em Bittencourt (1997, apud. MENDONÇA et al., 2004), que alguns professores têm uma relação contraditória com o livro didático –enquanto uns o têm como único recurso para preparar suas aulas, outros o veem como um empecilho para a aprendizagem dos alunos. O fato é que o livro didático continua sendo utilizado e, nas últimas décadas, em larga escala, em função dos programas nacionais de distribuição de livros didáticos – PNLD.

Braga e Mortimer (2003, p.57) constataram que a pesquisa em educação produzida até aquela época abordava o livro didático de Ciências em seus conteúdos programáticos, ideológicos, deixando uma lacuna em relação à natureza da linguagem neles utilizada. É neste contexto que se exprime a importância da semiótica como fundamento das pesquisas, pois se mostrou fecunda na compreensão dos fenômenos relacionados à comunicação. Martins (2006, p. 119) afirma que ainda há uma desproporção numérica muito grande entre as pesquisas orientadas pela análise de conteúdo e aquelas dedicadas à análise das dimensões discursivas, históricas, políticas e econômicas, que são inerentes e essenciais à problemática do livro didático. No entanto, Martins (2006) aponta para uma tendência de ampliação do interesse de pesquisadores da área da Educação em Ciências sobre a questão da linguagem nos livros didáticos.

Artigos como os de Rego (2011) fazem uma análise abrangente das características das imagens presentes nos livros didáticos de física, porém, a investigação pode ser aprofundada em muitos aspectos quando tomadas a partir dos pontos de referencia proporcionados pela teoria semiótica, tais como os modos de comunicação, a linguagem a ser desenvolvida ou utilizada, que em Lemke (1990) vem a ser chamado de “falar ciências”.

Ao se tratar dos modos de comunicação, a dissertação de Fonseca (2014) é muito rica neste aspecto, pois utilizando a Semiótica Social, concebeu-se uma unidade de análise, o Ato Comunicativo, que permitiu entender como modos de comunicação, tais como gestos, comportamento proxêmico, ou seja, aproximação entre professor e aluno no espaço da sala de aula, movimentos de cabeça, direcionamento do olhar, ações sobre objetos, mudança de postura corporal, entre outros, tiveram contribuições específicas para o compartilhamento de significados na sala de aula observada, bem como quais foram os efeitos do uso combinado ou orquestrado desses modos.

CAPÍTULO 2. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A pesquisa tem como aporte teórico-metodológico os pressupostos da teoria semiótica clássica e da semiótica social, apresentadas no capítulo 1. Para responder à questão de pesquisa, e compreender as possibilidades didáticas que se estendem a partir do uso das imagens no ensino de física, nos propusemos a analisar livros didáticos de ensino médio e de ensino superior, possibilitando investigar o desdobramento dos critérios de utilização destas imagens ao longo do processo de formação do aluno.

Foram analisadas as obras de Tipler e Mosca, Física para cientistas e engenheiros, por apresentar estratégias de solução de problemas, expressiva utilização nas faculdades de Engenharia e Física e servir de referencial teórico para vários autores de livros didáticos de Física, e de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, que aborda o ensino de Física para o ensino médio, por estar na lista de obras selecionadas para o PNLEM 2015 (Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio), expressivamente utilizados nas redes de ensino e também por possuir uma riqueza de imagens.

Desses livros, foram analisados os capítulos sobre eletricidade e magnetismo dada a importância das imagens na conceitualização de determinados objetos de conhecimentos abstratos como é o caso de campo elétrico e campo magnético. As imagens, as legendas e os textos que as acompanham são identificados, separados, contabilizados e analisados com base nos preceitos da análise semiótica.

Na presente pesquisa serão utilizadas as categorias estabelecidas por Perales e Jiménez (2002) apresentadas no artigo “Las ilustraciones em La enseñanza-aprendizaje de las Ciencias. Análisis de libros de texto”. Essas 06 categorias de análise são descritas no quadro 2.1. Além dessas 6 categorias de análises, serão analisadas também as cores das imagens, totalizando 7 categorias.

Quadro 2.1. Categorias/subcategorias de análise

| | Categorias de análise | Descrição | Subcategorias de análise | |
|---|---|---|---------------------------------|----------------------------------|
| 1 | A função da sequência didática em que aparecem as ilustrações | para que as imagens são usadas, em que trechos do texto são colocados | 1.1 | evocação |
| | | | 1.2 | definição |
| | | | 1.3 | aplicação |
| | | | 1.4 | descrição |
| | | | 1.5 | interpretação |
| | | | 1.6 | problematização |
| 2 | Iconicidade | o grau de complexidade que têm imagens, e a aproximação com o objeto representado | 2.1 | fotografia |
| | | | 2.2 | desenho figurativo |
| | | | 2.3 | desenho esquemático |
| | | | 2.4 | desenho figurativo + sinais |
| | | | 2.5 | desenho esquemático + sinais |
| | | | 2.6 | sinais de descrição padronizados |
| 3 | Funcionalidade | o que se pode fazer com as imagens | 3.1 | Inoperantes |
| | | | 3.2 | Operativas elementares |
| | | | 3.3 | Sintática |
| 4 | Relação com o texto principal | referências mútuas entre texto e imagem ou ajuda para interpretação | 4.1 | conotativo |
| | | | 4.2 | denotativo |
| | | | 4.3 | sinótica |
| 5 | Legendas Verbais | textos incluídos nas ilustrações | 5.1 | sem legenda |
| | | | 5.2 | nominativas |
| | | | 5.3 | relacional |
| 6 | cores | | coloridas | |
| | | | monocromáticas | |
| 7 | O conteúdo científico que a imagem sustenta | caracterização do ponto de vista da área de física das situações representadas nas imagens. | | |

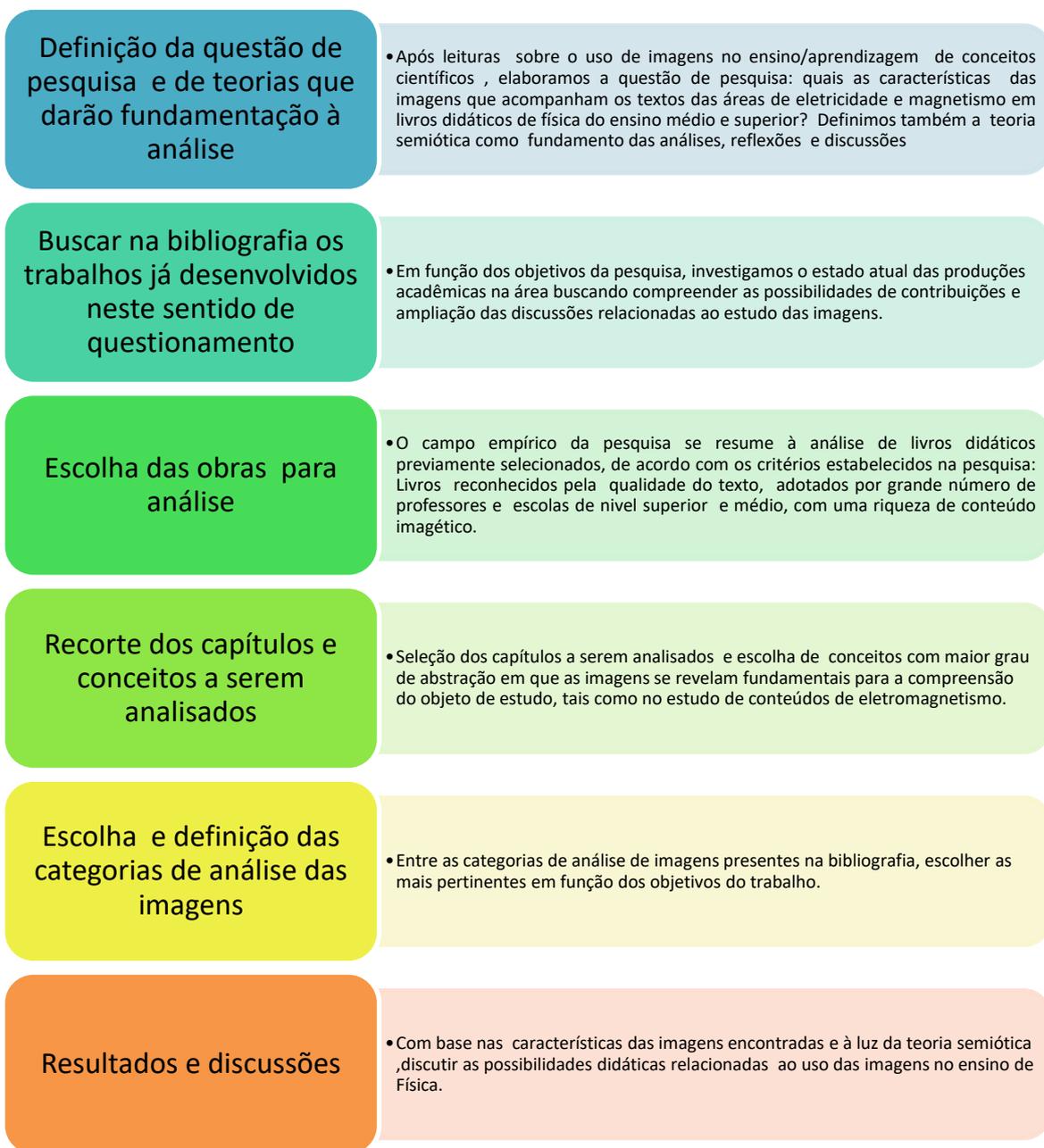
Fonte: Adaptado de Perales e Jiménez (2002)

Segundo os autores, analisar as imagens supõe considerar seu aspecto formal e semântico. Os aspectos formais, tais como disposições, tamanhos, cores e outras qualidades geralmente interessam aos editores gráficos, já os aspectos semânticos, tais como o caráter semiótico e os significados que as imagens carregam tendem a ser do interesse do professor ou do investigador da didática em ciências. Porém, dificilmente, essas duas dimensões se apresentam separadas, é imprescindível contemplar o seu conjunto.

Ao final do trabalho, pretende-se apresentar um panorama descritivo do papel representado pelas imagens nos livros didáticos ou manuais de ensino de física, reconhecendo as imagens como uma forma de articulação e mobilização do conhecimento.

Como é de fundamental importância um aprofundamento no conhecimento do signo na perspectiva da semiótica, estes fundamentos guiarão a pesquisa nas determinações dos graus de iconicidade, congruência semântica, correspondência semântica, bem como as possibilidades de conversão, formação e tratamento pertinentes à mobilização do conhecimento por intermédio dos registros de representações semióticas e na análise das imagens como um todo em suas determinadas categorias. Assim, o caminho metodológico desenvolvido nesta pesquisa pode ser sintetizado no quadro 2.2.

Quadro 2.2. Síntese do caminho metodológico da pesquisa. Fonte: o Autor.



CAPÍTULO 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1. CONHECENDO E VALIDANDO O INSTRUMENTO DE ANÁLISE

Como já visto anteriormente, a pesquisa com imagens será realizada de acordo com a proposta de Perales e Jiménez (2002) a partir de sete categorias principais de análise:

- Função da seqüência didática em que as ilustrações aparecem no texto, ou seja, para o que as imagens são usadas, em que passagens os textos se situam;
- Iconicidade: O grau de complexidade apresentado pelas imagens, ou seja, o quão próxima ou afastada da representação da real;
- Funcionalidade: O que você pode fazer com imagens, podendo ser apenas observações ou operações abstratas;
- Relação ao texto principal: Referências mútuas entre texto e imagem. Auxílios de interpretação do texto;
- Legendas: Textos ou palavras incluídos nas ilustrações para uma melhor compreensão;
- Cores: Coloridas ou monocromáticas;
- Conteúdos Científicos: Se as imagens que reproduzem estes conceitos se apoiam ou não em representações chave para a sua correta interpretação

Em função da sua complexidade, cada categoria e subcategorias serão analisadas de forma pormenorizada buscando-se imagens que contemplam as características perseguidas. Foram analisadas 97 imagens, 61 contidas na obra Curso de Física, e de Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, no capítulo 08, que

aborda a indução Magnética e 36 na obra de Tipler e Mosca, Física para cientistas e engenheiros, capítulo 28, também sobre indução magnética.

O quadro 3.1 apresenta essas categorias e suas subcategorias com as quantidades de imagens presentes em cada capítulo analisado. As duas últimas colunas do quadro mostram a quantidade de imagens distribuídas na obra “Curso de Física” e a quantidade de imagens distribuídas na obra “Física para cientistas e engenheiros”, de acordo com as subcategorias. Seguem nos subcapítulos posteriores os comentários e observações relevantes associados à distribuição das imagens em cada obra. Ao final é apresentada uma investigação das duas obras analisadas, buscando compreender abordagens específicas no tratamento de conceitos como os de Campo Elétrico e Campo Magnético (como os campos são invisíveis e acessíveis apenas pelas representações simbólicas ou por experimentos de laboratório, a abordagem deste conceito torna-se fundamental neste trabalho), Corrente Induzida, Lei de Lenz e a Lei de Faraday.

Quadro 3.1 principais categorias de análise e suas subcategorias

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidades de imagens encontradas em cada obra, nos capítulos sobre indução magnética | |
|-----------------------|---|---|--|---------------------------------|--|--------------------------------------|
| | | | | | Curso de Física | Física para Cientistas e Engenheiros |
| 1 | A função da sequência didática em que aparecem as ilustrações | para que as imagens são usadas, em que trechos de texto são colocados | 1.1 | evocação | 6 | 6 |
| | | | 1.2 | definição | 11 | 8 |
| | | | 1.3 | aplicação | 26 | 5 |
| | | | 1.4 | descrição | 25 | 11 |
| | | | 1.5 | interpretação | 13 | 6 |
| | | | 1.6 | problematização | 3 | 0 |
| 2 | Iconicidade | o grau de complexidade que têm imagens, e a aproximação com o objeto representado | 2.1 | fotografia | 22 | 3 |
| | | | 2.2 | desenho figurativo | 13 | 1 |
| | | | 2.3 | desenho esquemático | 4 | 1 |
| | | | 2.4 | desenho figurativo + sinais | 7 | 10 |
| | | | 2.5 | desenho esquemático + sinais | 5 | 7 |
| | | | 2.6 | sinais de descrição padronizada | 9 | 14 |
| 3 | Funcionalidade | o que se pode fazer com imagens | 3.1 | Inoperantes | 40 | 7 |
| | | | 3.2 | Operativas elementares | 17 | 15 |
| | | | 3.3 | Sintática | 0 | 15 |
| 4 | Relação com o texto principal | referências mútuas entre texto e imagem ou ajudas para interpretação | 4.1 | conotativo | 0 | 0 |
| | | | 4.2 | denotativo | 54 | 29 |
| | | | 4.3 | sinótica | 5 | 8 |
| 5 | Legendas | textos incluídos nas ilustrações | 5.1 | sem legendas | 4 | 0 |
| | | | 5.2 | nominativas | 1 | 3 |
| | | | 5.3 | relacional | 55 | 33 |
| 6 | Cores | cores das imagens | 7.1 | colorida | 56 | 0 |
| | | | 7.2 | monocromática | 5 | 36 |
| 7 | Conteúdo científico | Esta categoria é apresentada no subcapítulo 3.1.7. | | | | |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

3.1.1. Função da Sequência didática que a imagem representa

A sequência didática é a série de afirmações, referências, problemas levantados pelos autores do texto, ao longo deste. (PERALES E JIMÉNEZ, 2002).

Portanto, parte-se do pressuposto que os textos são elaborados sob a premissa de que serão lidos sequencialmente pelos leitores, ou seja, a ordem da exposição obedece a um plano estabelecido, idealizado pelos autores, para tornar possível ou facilitar a aprendizagem. Entre as diversas aplicações ou funções da sequência didática aqui destacada, aplicação e a interpretação às vezes são muito semelhantes e se distinguem pela sua posição no texto e sua complexidade. A aplicação esclarece um conceito ou exerce um procedimento previamente definido, enquanto a interpretação relaciona vários conceitos (PERALES e JIMÉNEZ, 2002)

As ilustrações desempenham um papel crítico na resolução de problemas em Física, em sua quase totalidade, exercícios resolvidos apresentam um esboço da situação problema apoiada em uma imagem em que se representam os vetores, linhas de força, circuitos ou outros agentes mostrando relações estruturais e conceituais com mais clareza. Dessa categoria principal, que categoriza a função das imagens quando combinadas com os textos de sequências didáticas, destacam-se seis subcategorias: evocação, definição, aplicação, descrição, interpretação e problematização, todas destacadas no quadro 3.2.

Quadro 3.2.: Descrição das subcategorias em função da sequência didática que a imagem representa.

| Categorias em função da sequência didática | | descrição |
|--|-----------------|--|
| 1.1 | evocação | Faz referência a um fato da experiência ou conceito cotidiano que é suposto ser conhecido pelo aluno. Exemplo: "no gelo, é muito difícil andar ..." |
| 1.2 | definição | O significado de um novo termo está estabelecido em seu contexto teórico. Exemplo: "quando a soma de todas as forças que atuam sobre um corpo é zero, permanece em equilíbrio, o que não significa que esteja em repouso" |
| 1.3 | aplicação | É um exemplo que amplia ou consolida uma definição. Exemplo: "Quando arrastamos uma cadeira, estamos exercendo uma força". |
| 1.4 | descrição | Refere-se a fatos ou eventos não-diários que devem ser desconhecidos pelo leitor e que nos permitem fornecer um contexto necessário. Também estão incluídos nesta categoria conceitos necessários para o discurso principal, mas não pertencem ao núcleo conceitual. Exemplo: "Quando um motorista observa um obstáculo na estrada, ele não pode parar seu veículo instantaneamente ... distinguimos entre o tempo de reação e o tempo de frenagem". |
| 1.5 | interpretação | São passagens explicativas nas quais os conceitos teóricos são usados para descrever as relações entre eventos experimentais. Exemplo: "na maior parte do caminho, a velocidade é mantida constante, então a força resultante é zero" |
| 1.6 | problematização | Há questões não retóricas que não podem ser resolvidas com os conceitos já definidos. Seu objetivo é incentivar os alunos a testar suas ideias ou estimular o interesse no assunto, apresentando problemas que posteriormente justificam uma interpretação ou uma nova abordagem. A importância deste tipo de atividade foi destacada por Ogborn (1996) no que ele chama de criação de diferenças entre o pensamento dos alunos e as ideias que eles querem apresentar. Exemplo: "explicar como os movimentos das ondas podem produzir impressões nos olhos ou ouvidos". |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

3.1.2. Iconicidade

Um ícone é um “*Representâmen*” quando estudado a partir da semiótica de Peirce. Nesta teoria, qualquer coisa pode ser um substituto para outra coisa com o qual se assemelhe. A única maneira de comunicar diretamente uma ideia é através de um ícone e todo método de comunicação indireta de uma ideia depende do uso de um ícone. Uma das peculiaridades dos ícones é que através de sua observação, outras verdades relativas ao objeto podem ser descobertas, como é o caso de duas fotografias das partes que permitem gerar um mapa como um todo. (PEIRCE, 2003).

Portanto, na definição de ícone o critério de semelhança é fundamental. Aqui o grau de iconicidade refere-se a um crescente grau de simbolização. Imagens de menor grau de iconicidade – menos realista - requer maior conhecimento do código simbólico usado, conforme convenção adotada por Perales e Jimenez (2002), representada no quadro 3.3. Em uma sequência ascendente de grau de complexidade, para a categoria iconicidade, seguem as subcategorias: fotografia, desenho figurativo, desenho esquemático, desenho figurativo + sinais, desenho esquemático + sinais, e por fim os sinais de descrição padronizada, sendo o mais complexo sistema de representação, com maior grau de simbolização.

Na perspectiva de Duval (2009) a iconicidade, assim como a funcionalidade podem ser avaliadas a partir do grau de congruência semântica do registro de representação, ou seja, a facilidade ou dificuldade em se converter um tipo de representação em outro. A figura 3.1, inspirada na dissertação de Garcia (2011), obtida a partir da obra “Curso de Física” mostra uma aplicação da indução magnética, representada dentro de um *continuum* que liga os mundos vivido e concebido, práticas culturais que permitam aos leitores interpretar as inscrições e utilizá-las para compreender e agir em seu mundo.

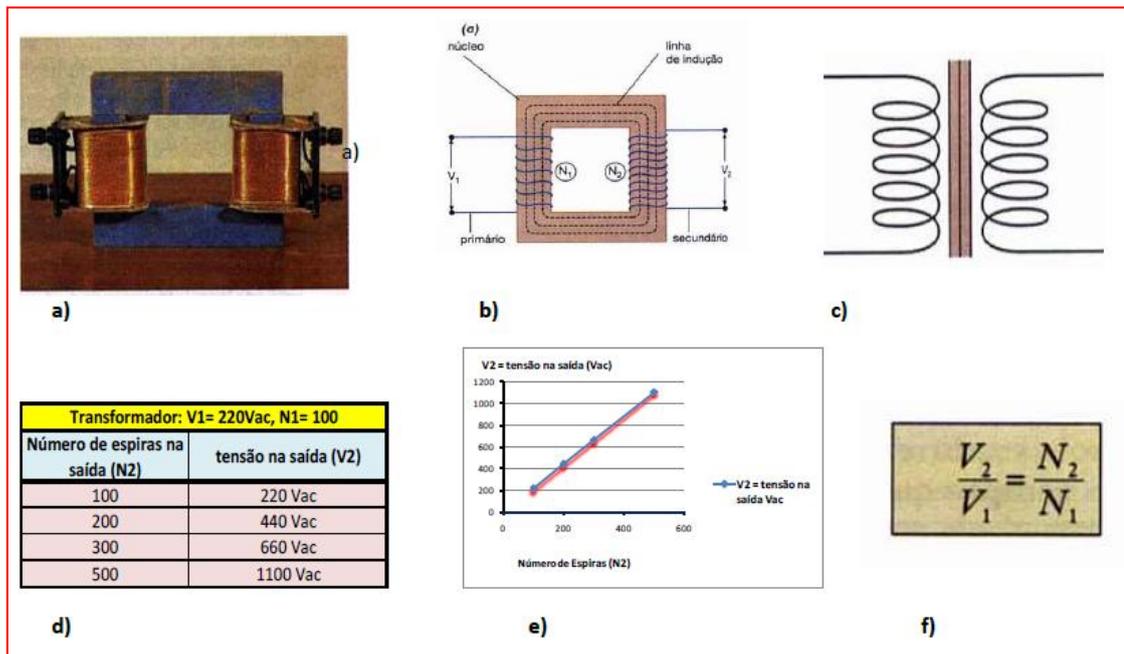


Figura 3.1: Um transformador representado em diversos graus de iconicidade. (Fonte: Curso de Física, 2012)

O grau de iconicidade parte da figura (a), a fotografia de um transformador. A figura (b), é um desenho figurativo, apresenta letras que indicam a aplicação de uma tensão elétrica (V) bem como chama a atenção para a importância do número de espiras presente no dispositivo apresentado. A figura (c) uma representação esquemática, mais distante da forma real, elevou-se o grau de iconicidade, esta é a forma presente nos esquemas elétricos técnicos manuais de construção e montagem. Nas formas representadas a partir da figura (d), as representações são mais abstratas, são tabelas, gráficos e fórmulas e exigem operações de interpretação que podem ser tratadas a partir do estudo do funcionamento cognitivo do pensamento humano. Duval (2011) chama de conversão à passagem de um sistema de representação a outro, como de tabelas para gráficos e gráficos para equações, ou o caminho inverso.

Assim a iconicidade mostra-se a categoria fundamental para a determinação do grau de complexidade da figura, uma vez que o efetivo aprendido está diretamente relacionado com a capacidade do escolar em transitar espontaneamente entre as diversas formas de representação, nos mais diversos índices de congruência semântica. Por congruência e não-congruênciasemântica,

entende-se a facilidade de mobilização e passagem de um sistema de representação a outro, o que em muitas das vezes não é espontâneo para os estudantes. A passagem de uma representação à outra se faz espontaneamente quando elas são congruentes, ou seja, quando satisfazem três condições básicas. Primeiro que haja correspondência semântica entre as unidades significantes que as constituem, segundo, que haja mesma ordem possível de apreensão dessas duas nas duas representações e terceiro, que nas representações de partida e nas representações de chegada haja apenas uma só unidade significativa correspondente. (DUVAL,2009).

Quadro 3.3: Categorias em função da Iconicidade

| Categorias em função das categorias de análise: Iconicidade | | Descrição |
|--|--|--|
| 2.1 | fotografia | fotografias, em cores ou monocromáticas |
| 2.2 | desenho figurativo | objetos representados como imitação da realidade, desenhos |
| 2.3 | desenho esquemático | representações das relações não atrelada a detalhes |
| 2.4 | desenho figurativo + sinais | Representam ações ou magnitudes não observáveis em um espaço de representação heterogêneo |
| 2.5 | desenho esquemático + sinais | representam ações ou magnitudes inobserváveis |
| 2.6 | sinais de descrição padronizada | Constitui um espaço de representação homogênea e simbólica que tem regras sintáticas específicas |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

3.1.3. Funcionalidade

Durante as aulas, os professores recorrem aos mais diversos recursos para a comunicação de ideias e a abordagem de diferentes conceitos científicos, neste cenário, recorre-se de forma consciente ou inconsciente ao uso de ferramentas gráficas como expressão de ideias, recorrer a estes recursos didáticos é comum em atividades de ensino e aprendizagem na ciência e em textos que apresentam conteúdo científico. O professor faz uso dessa diversidade de meios de expressão, como esboços a mão livre, representações de conceitos usando símbolos analógicos ou arbitrários, quantificando símbolos como vetores, dimensões, ângulos, e tantos outros presentes no ensino da Física, ou a representação gráfica das funções. No entanto, tanto as ilustrações usadas pelo professor quanto as incorporadas nos livros didáticos muitas vezes exigem uma "alfabetização gráfica" por parte dos alunos, estes que estão aprendendo a "falar ciências". (PERALES E JIMENEZ, 2002).

Segundo Perales e Jimenez (2002), a avaliação da maior ou menor funcionalidade dessas ferramentas expressivas é difícil de estabelecer genericamente, por isso só foi possível considerar três categorias de ilustrações atendendo à atividade de aprendizagem que supõe para os leitores. O quadro 3.4 apresenta essas subcategorias.

Quadro 3.4: categorias de análise: Funcionalidade

| Categorias em função das categorias de análise: Funcionalidade | | Descrição |
|--|------------------------|--|
| 3.1 | Inoperantes | não contém nenhum elemento utilizável, apenas observável |
| 3.2 | Operativas elementares | contém elementos de representações universais, como croquis e cotas |
| 3.3 | Sintática | Eles contêm elementos cujo uso requer o conhecimento de regras específicas: vetores, circuitos elétricos, etc. |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

A figura 3.2 produzida a partir da obra “Curso de Física, Volume 3” de Máximo e Alvarenga, ilustra as tres subcategorias apresentadas: Inoperantes, operativas elementares e Sintática.

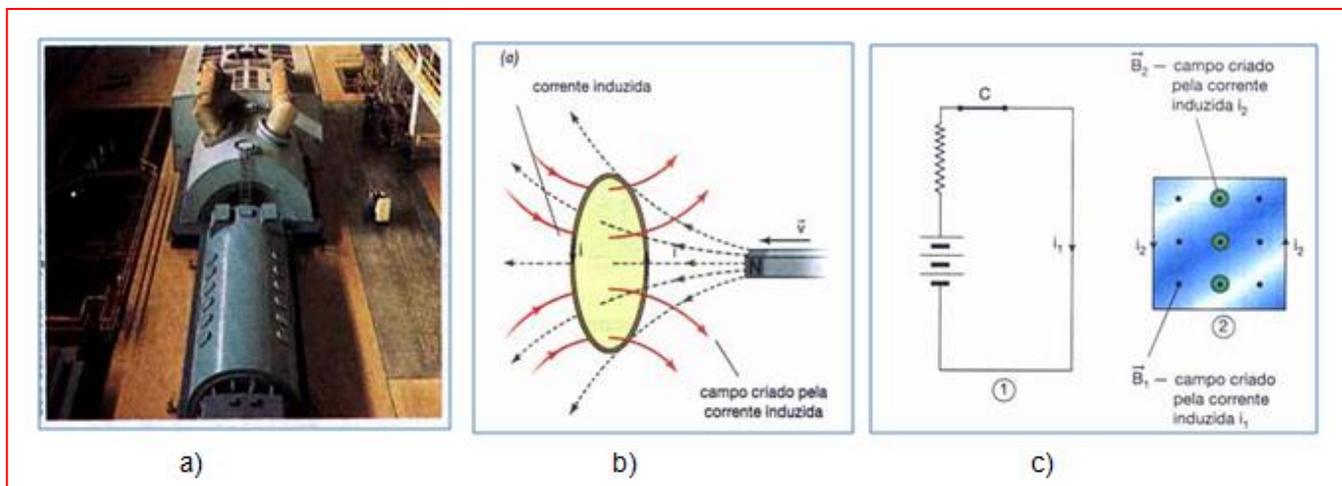


Figura 3.2: diferentes graus de operações mentais com as imagens. Fonte: adaptação de Curso de Física (2014).

A figura “a” da obra de Máximo e Alvarenga (2012), não contém elemento utilizável, é passiva apenas de observação direta, portanto é inoperante. A figura “b” contém elementos de representações universais, tais como as linhas de campo, os vetores de velocidade e indicações de polarização, portanto operativas elementares. A figura c contém elementos cujo uso requer conhecimento de regras específicas, neste caso, circuitos elétricos e representações de campos criados pela corrente induzida.

3.1.4. Relação com o Texto Principal

A relação com o Texto Principal é a categoria associada à conexão que a figura observada possui com o texto redigido pelo autor do livro didático. O texto principal suporta todo o discurso narrativo ou argumentativo, as ilustrações mostram aspectos parciais; em outras palavras, a informação incluída nas imagens é descontínua e apenas a inclusão no conjunto dá significado, ou seja, a imagem associada ao texto forma um significado específico. Os textos combinados com imagens estabelecem uma codificação dupla que deve ser interpretada corretamente no ato de ensino-aprendizagem. (PERALES E JIMENEZ, 2002).

O quadro 3.5 detalha cada subcategoria associada a esta categoria principal.

Quadro 3.5: Categorias em função da relação com o texto principal.

| Categorias em função das categorias de análise: relação com o texto principal | | Descrição |
|---|------------|--|
| 4.1 | conotativo | O texto descreve o conteúdo sem mencionar sua correspondência com os elementos incluídos na ilustração. Essas correspondências são assumidas como óbvias e estabelecidas pelo próprio leitor. |
| 4.2 | denotativo | O texto estabelece a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados. Exemplo: "A Figura x mostra um dinamômetro". |
| 4.3 | sinótica | O texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados, e também estabelece as condições nas quais as relações entre os elementos incluídos na ilustração representam as relações entre os conteúdos, de modo que a imagem e o texto formem uma unidade indivisível. |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

A figura 3.3, extraída da obra "Curso de Física, volume 3", ilustra um caso de uso conotativo da imagem. O texto traz o conteúdo sem mencionar sua correspondência com os elementos incluídos na ilustração. Suas correspondências são assumidas como óbvias, neste caso é óbvio que a figura ao lado de texto é a foto do próprio físico James Clerk Maxwell (1831 -1879).

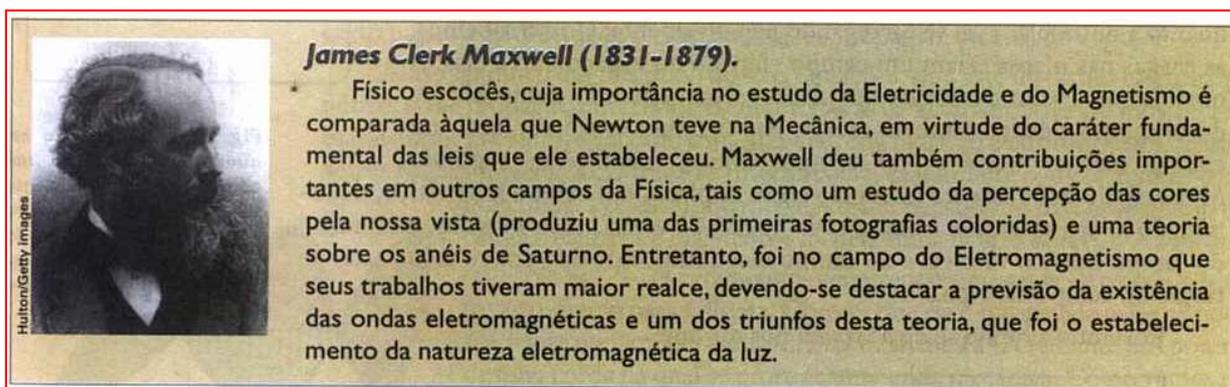


Figura 3.3: uso conotativo da imagem. (Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2012, p.243.)

A figura 3.4, também extraída da obra “Curso de Física, volume 3”, traz um caso que pode ser considerado como o uso sinótico das imagens. O texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados, e também estabelece as condições nas quais as relações entre os elementos incluídos na ilustração representam as relações entre os conteúdos, de modo que a imagem e o texto formem uma unidade indivisível.

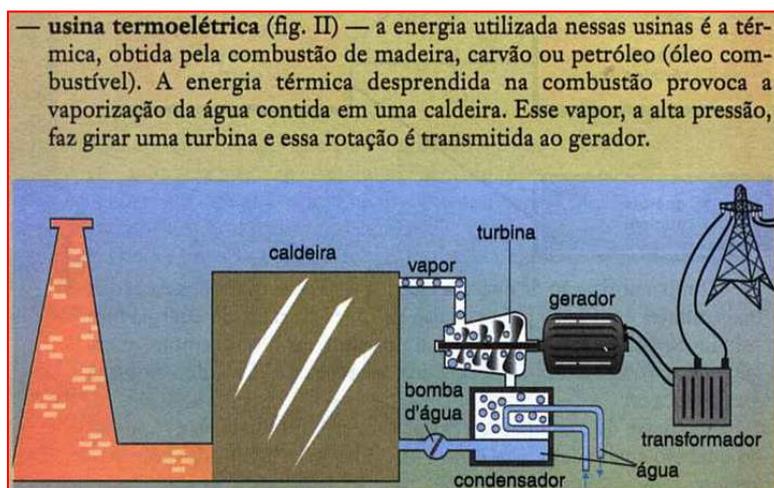


Figura 3.4: Imagem, categoria Sinótico. (Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2012, p.282.)

A figura 3.5 apresenta o caso mais típico de categoria, quando observada a partir da relação com o texto principal. Quando seu uso é denotativo o texto estabelece a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados.

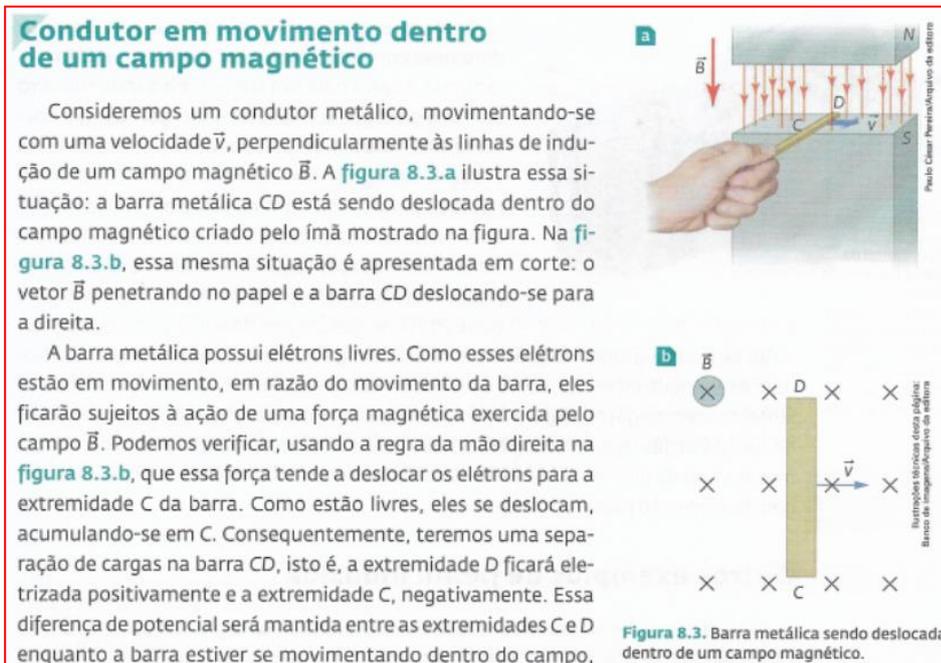


Figura 3.5 Imagem com função Denotativa em relação ao texto principal(Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.193.)

3.1.5. Legendas

As legendas são os textos incluídos nas ilustrações e que ajudam a interpretá-los. Essa categoria pode ser confundida com a categoria associada a “Relação com o Texto Principal” apresentada anteriormente, porém, o fato de o texto ser incorporado na própria ilustração - como é agora o caso - ou ser externo a ele permite discriminar entre uma ilustração auto-suficiente ou dependente do texto não ilustrado, respectivamente. (PERALES E JIMENEZ, 2002).

As subcategorias associadas a essa categoria principal são apresentadas no quadro 3.6.

Com respeito às legendas, a análise semântica se revela extremamente importante. Quando as palavras se combinam, o significado do conjunto é mais do que a soma de suas partes separadas, ou seja, legendas mais a imagem e conteúdo científico. Para obter o significado do todo, você precisa saber mais do que o significado de cada palavra: você precisa conhecer as relações de significado entre diferentes palavras. Um aluno pode conhecer as definições de "elétron", "elemento"

e "orbital", mas isso não significa que ele ou ela use essas palavras juntas em uma frase corretamente ou diga como seus significados se relacionam. Para isso, requer conhecimento adicional: conhecimento de como essas palavras são usadas na ciência falante. (LEMKE,1990).

Quadro 3.6.: categorias em função das legendas

| Categorias em função das Legendas | | descrição |
|-----------------------------------|--------------|--|
| 5.1 | sem legendas | as ilustrações não contém texto |
| 5.2 | nominativas | Letras ou palavras que identificam alguns elementos da ilustração. |
| 5.3 | relacional | Textos que descrevem as relações entre os elementos da ilustração |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

A figura 3.6 extraída da obra “Física para Engenheiros e Cientistas” apresenta duas categorias principais de legendas: Nominativa e Relacional. Na figura 3.6 (a) observa-se letras ou palavras que identificam alguns elementos da ilustração, tais como o eixo de simetria da imagem, o vetor campo magnético, o número de espiras na bobina, a resistência elétrica do circuito e um aparelho para medir a corrente do circuito, um Integrador de corrente. Na figura 3.6 (b) observa-se um texto que descreve as relações entre os elementos da ilustração, ou seja, uma legenda relacional.

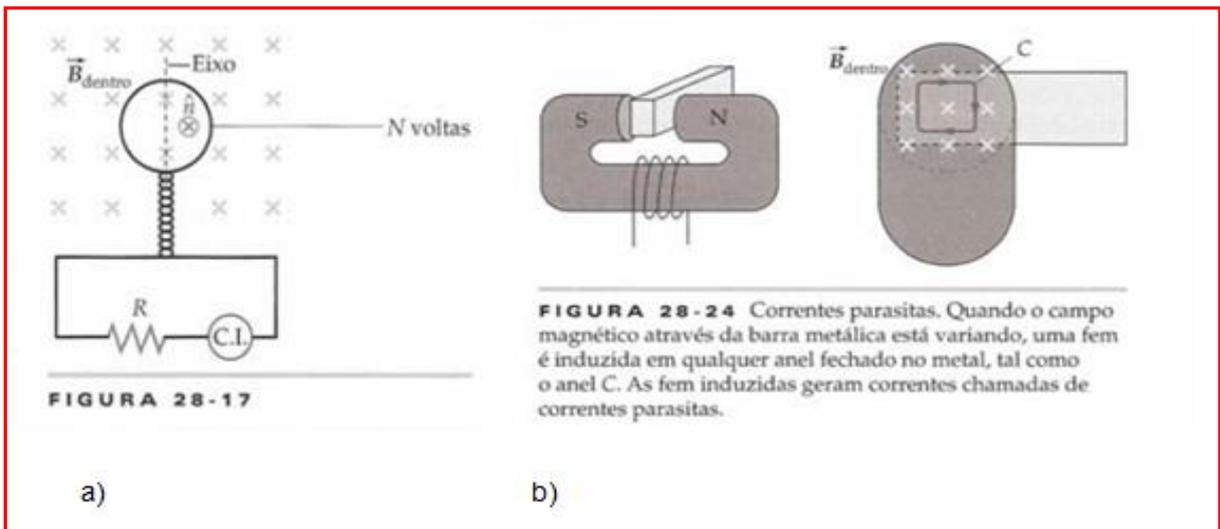


Figura 3.6: figura com legenda nominativa (a) e relacional (b).

Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 275)

3.1.6. Cores

As cores das imagens podem ser classificadas como coloridas ou monocromáticas, conforme o quadro 3.7. As funções atribuídas para as imagens, de acordo com os pesquisadores, podem assumir diversas expressões, que variam de acordo com o nível de ensino, disponibilidade do registro, ou até mesmo o conteúdo estudado. Quando estão associadas à função de decorar os livros e torná-los mais atraentes para despertar o interesse dos leitores, as imagens tendem a ser coloridas, e o seu conteúdo científico é menos explorado. O uso adequado das cores, juntamente com outras convenções, tais como o bom uso da perspectiva e a direção normal de leitura, constituem um importante fator de adequação das imagens ao contexto didático. (PERALES E JIMENEZ, 2002).

Quadro 3.7. Categorias em função das Imagens

| Categorias em função das Imagens | | Descrição |
|----------------------------------|---------------|--|
| 6.1 | colorida | mais de duas cores |
| 6.2 | monocromática | preto e branco combinados constituem a coloração das imagens |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

A Figura 3.7 extraída da obra “Curso de Física” ilustra a “Lei de Lenz” a partir do uso de um desenho figurativo + sinais padronizados em formato colorido. Segundo essa lei, quando um ímã é aproximado da espira, verifica-se que a corrente nela induzida, tem o sentido indicado na figura. A figura 3.8, extraída da obra “Física para Engenheiros e Cientistas” representa o mesmo fenômeno em um desenho figurativo + sinais padronizados com coloração monocromática. Observa-se que, embora as imagens sejam fundamentais, as cores não são decisivas para a compreensão do fenômeno, restando atribuir o seu uso para o despertar do interesse do escolar, bem como para atributos estéticos.

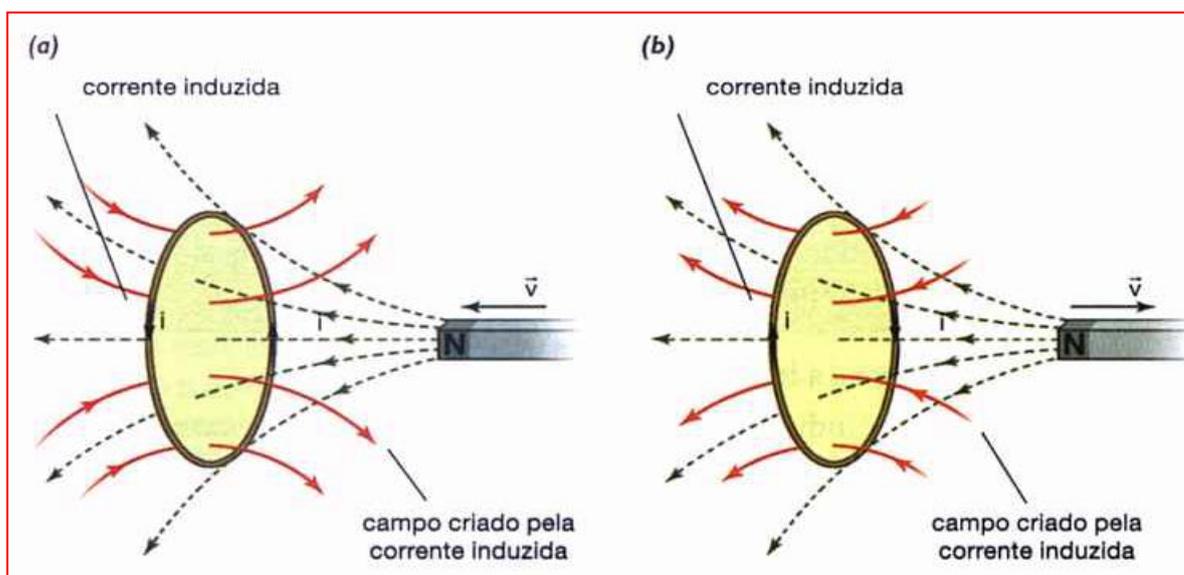


Figura 3.7. Lei de Lenz ilustrada em um desenho figurativo + sinais padronizados colorido.
(Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.236.)

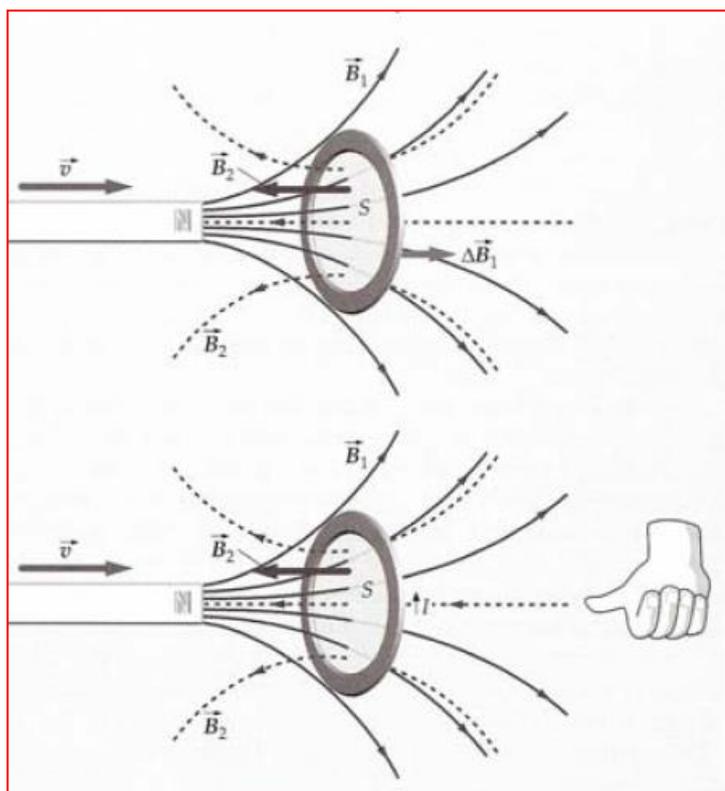


Figura 3.8. Lei de Lenz ilustrada em um desenho figurativo + sinais padronizados monocromático.

Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 268)

3.1.7. O conteúdo Científico que a imagem sustenta

Os fenômenos relacionados à indução magnética podem ser mais bem compreendidos quando relacionados ao conhecimento de determinados conceitos científicos, os quais são fundamentais para o estudo do eletromagnetismo. Assim, cabe investigar para cada conceito fundamental a apresentação de seu conteúdo científico por intermédio das imagens, ou seja, se as imagens que reproduzem estes conceitos se apoiam ou não em representações-chave para a sua correta interpretação. Dos conceitos científicos analisados, destacam-se: Lei de Faraday, Campo elétrico e Magnético, Corrente Induzida e Lei de Lenz, para as duas obras analisadas nesta pesquisa.

Foram tratados à luz da teoria semiótica e das informações obtidas nas abordagens anteriores, quais são as principais particularidades de cada livro com relação à apresentação dos conceitos fundamentais que abrangem o estudo da

indução magnética. Entre estes conceitos, foram aqui destacados a força eletromotriz induzida, o fluxo magnético, a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. A análise foi realizada tomando-se os fragmentos da sequência didática, ou seja, imagens mais textos que fazem a exposição destes conceitos científicos nos livros em questão.

Espera-se que a análise da sequência didática tenda a ser reveladora em muitos aspectos, tais como a compreensão do entrosamento entre os conceitos, ou seja, se estão fragmentados ou apresentados em uma unidade na qual os conceitos se complementam entre si, o grau de complexidade da abordagem, o aprofundamento na exposição do conteúdo e o vínculo estabelecido com o cotidiano do estudante.

Não se pode aqui perder de vista o papel e a importância da presença do professor no transcorrer do processo, pois como já discutido na introdução desta pesquisa uma lição é uma atividade social, tem um padrão de organização, uma estrutura. Eventos sociais tendem a se seguir em uma ordem mais ou menos definida. Tem um começo e um acabamento. Mas, como atividade social, todas as interferências que podem surgir nessa interação não podem ser ignoradas, ou seja, a utilização de gestos, as interações com objetos ou com imagens, ao comportamento proxêmico, as mudanças na postura corporal, ao olhar e aos movimentos da cabeça do professor, passam a ser considerados como modos de comunicação. A análise em si não deve se prender às páginas dos livros, assim analisar a sequência didática é apenas um começo que auxilia a apontar para o caminho a ser trilhado no processo educativo.

A lei de Faraday é fundamental para o estudante interpretar e compreender muitas tecnologias modernas. Oersted (1777-1851), em 1820, identificou uma importante relação entre fenômenos elétricos e magnéticos: uma corrente elétrica gera campo magnético. Faraday (1791-1867) depois de conhecer a descoberta de Oersted levantou a seguinte questão: "(...) um campo magnético é capaz de produzir corrente elétrica em um circuito?" (Chesmam et al. 2004, p.30). Após a condução de vários experimentos, no final de 1831, Faraday completou a descoberta do eletromagnetismo por Oersted mostrando a existência de um fenômeno inverso (Dias, 2004). Observou que o surgimento da corrente induzida dependia da

variação temporal do fluxo do campo magnético através da bobina. Há muitas regras descobertas por Faraday que regem a indução, mas no ensino da Lei de Faraday utilizamos “um formalismo matemático que torna mais concisa a expressão dessas relações”. (Dias, 2004, p.51). No ensino médio seria importante mostrar que correntes variáveis em um circuito geram uma corrente em um circuito próximo e que, de forma similar, o movimento de um ímã (B) em um circuito gera neste uma corrente. Se o campo (B) for mantido fixo, mas variando-se a área (A) do circuito em contato com o campo magnético, ou ainda variando-se a orientação (ângulo θ entre o vetor campo magnético e a normal à área da espira) do circuito em relação ao campo, também é gerada uma corrente no circuito.

Entre as representações adotadas por Faraday para representar os campos elétricos e magnéticos, podem ser destacadas as linhas de campo elétrico e magnético. Quando há um campo magnético em uma região do espaço, existe pelo menos um objeto magnetizado na vizinhança. Uma bússola pode ser usada para indicar a presença do campo magnético terrestre. Como a agulha da bússola é magnetizada, o campo criado por ela sobrepõe-se ao já existente na região. Isso revela a interação entre o objeto magnetizado e a agulha da bússola que é mantida pelo campo magnético. Como a agulha tem pequena massa e é móvel, ela muda de posição, tomando a direção paralela ao campo criado pelo objeto. O mapeamento das linhas do campo magnético fornece informações acerca da intensidade de uma possível interação entre dois objetos magnetizados. Como sabemos, a interação é maior na região próxima aos polos magnéticos.

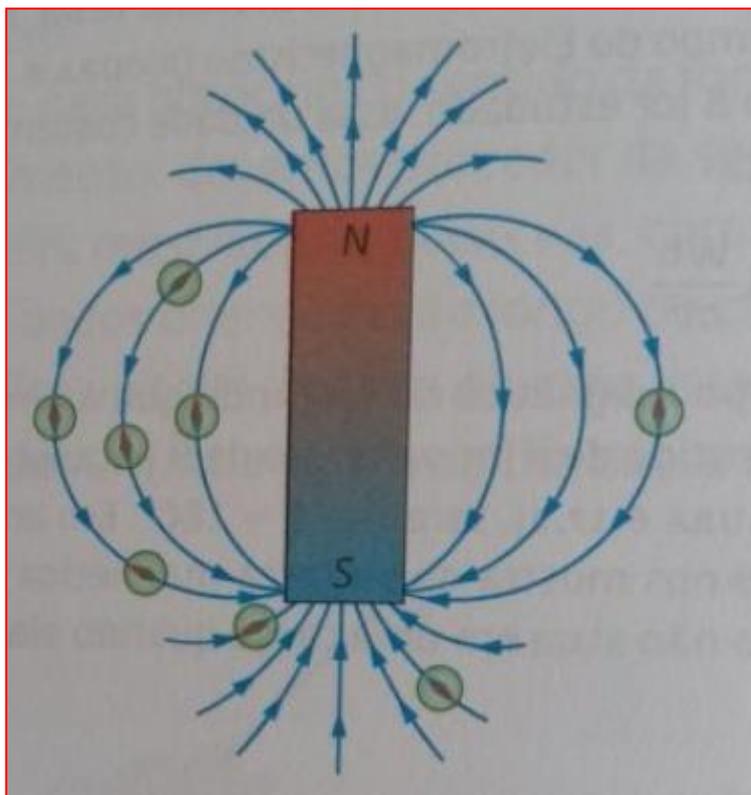


Figura 3.9: Linhas do campo magnético de um ímã em forma de barra no plano de uma folha de papel. (Fonte: Curso de Física, 2012, pág. 184)

Observe a figura 3.9 acima: as linhas do campo magnético estão mais próximas na região dos polos do que nas demais. Assim, quanto mais próximas estiverem as linhas do campo magnético, mais intensa será a interação com outro objeto magnetizado, colocado nessa região.

Aqui é fundamental destacar para o estudante que as linhas que representam o campo magnético são *fechadas*, ou seja, não têm começo nem fim. Isso pode ser observado quando colocamos limalha de ferro em uma folha de papel, sobre um ímã de barra: o padrão de linhas formado continua na parte do papel que está sobre o ímã, fechando-se. Outro ponto de fundamental importância na compreensão da teoria do magnetismo é a Inexistência do monopolo magnético. A teoria do magnetismo estabelece uma relação entre o fato de as linhas do campo magnético serem fechadas e os polos magnéticos, inseparáveis. De acordo com essa teoria, as linhas fechadas evidenciam a impossibilidade da existência de um único polo

magnético isolado: caso existisse, as linhas do campo magnético partiriam dele ou terminariam nele e não seriam fechadas.

Assim como para representar o campo magnético, o campo elétrico é representado por Linhas de campo Elétrico. Nas figuras 3.10 (a) e 3.10 (b) abaixo você observa as linhas de força de duas cargas elétricas é possível observar que o campo elétrico é tangente em cada ponto e que tem o sentido de afastamento das cargas positivas e de aproximação das negativas. Observe que o número de linhas de campo que atravessam a mesma área S indica a maior ou menor intensidade do campo elétrico nessa região e, para uma única carga são sempre linhas abertas.

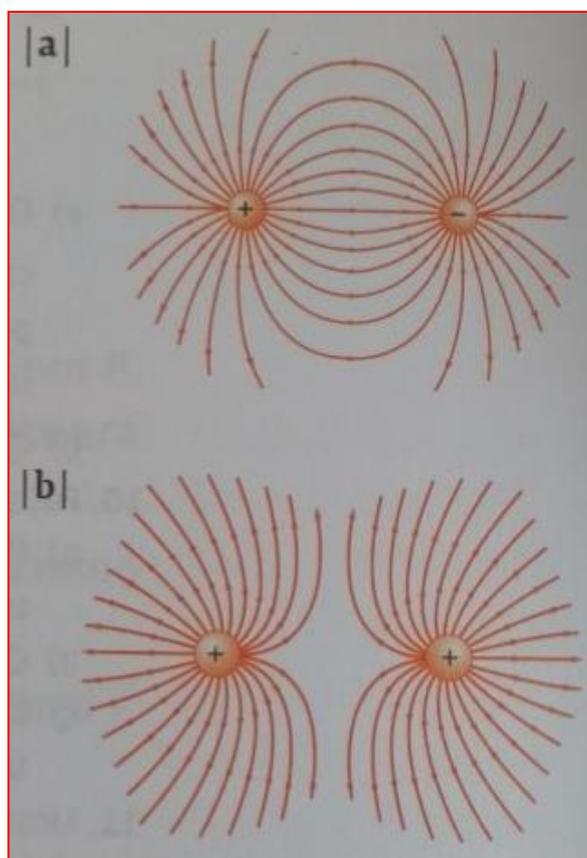


Figura 3.10: Linhas de campo são linhas que podem se originar no infinito (cargas positivas) ou findarem no infinito (cargas negativas).(Fonte: Curso de Física, 2014, pág. 46).

Assim, para os campos magnéticos, destaca-se como particularidade a propriedade das linhas de campo fechadas, ou seja, a impossibilidade de monopolos magnéticos, já para os campos elétricos as representações indicam as linhas

abertas para uma única carga ou podem ser linhas fechadas que podem se originar no infinito (cargas positivas) ou findarem no infinito (cargas negativas). Essa distinção é de extrema importância para a compreensão dos fenômenos elétricos e magnéticos que constituem o estudo do eletromagnetismo e da indução magnética.

A Corrente Induzida é o fenômeno que acompanha a sequência didática relacionada à lei de Faraday. Quando há variação do fluxo magnético em um determinado circuito, surge uma corrente induzida, ou seja, o movimento ordenado de portadores de cargas elétricas na superfície de um condutor de eletricidade. O sentido da corrente elétrica estabelecida e as diferentes formas da corrente elétrica no cotidiano do escolar é de fundamental importância para a compreensão do fenômeno e suas aplicações no dia a dia do escolar.

A Lei de Lenz diz que “O sentido da corrente induzida é tal que o campo magnético por ela produzido se opõe à mudança de fluxo que se originou.” Aqui reside um princípio fundamental da natureza, a lei da Conservação da Energia, pois, analisando matematicamente percebe-se que a Lei de Lenz é uma consequência da conservação de energia aplicada à indução eletromagnética. Ela foi formulada por Heinrich Lenz em 1833. Enquanto a Lei de Faraday discorre sobre a magnitude da FEM produzida, a Lei de Lenz discorre sobre a direção que a corrente fluirá. Ela estabelece que essa direção sempre irá se opor à variação do fluxo que a produz. Isso significa que qualquer campo magnético produzido por uma corrente induzida será na direção oposta à variação do campo original.

Como mostra a figura 3.11 (a), o campo magnético \vec{B} (linhas tracejadas) criado pelo ímã se aproxima da espira, de modo que o fluxo magnético no seu interior também aumenta. Segundo a Lei proposta por Lenz, a corrente induzida se opõe ao aumento de fluxo magnético. Para que tal fato aconteça, a corrente induzida na espira deve criar um campo magnético \vec{B}' de modo que o fluxo de (\vec{B}') através da espira tenha valor contrário ao do fluxo \vec{B} . Em consequência disso, deduzimos que \vec{B}' deve ter sentido oposto ao de \vec{B} , como mostra a figura 3.11 (b). Se aplicarmos a regra da mão direita veremos que a corrente induzida possui o sentido indicado na figura 3.60 (b).

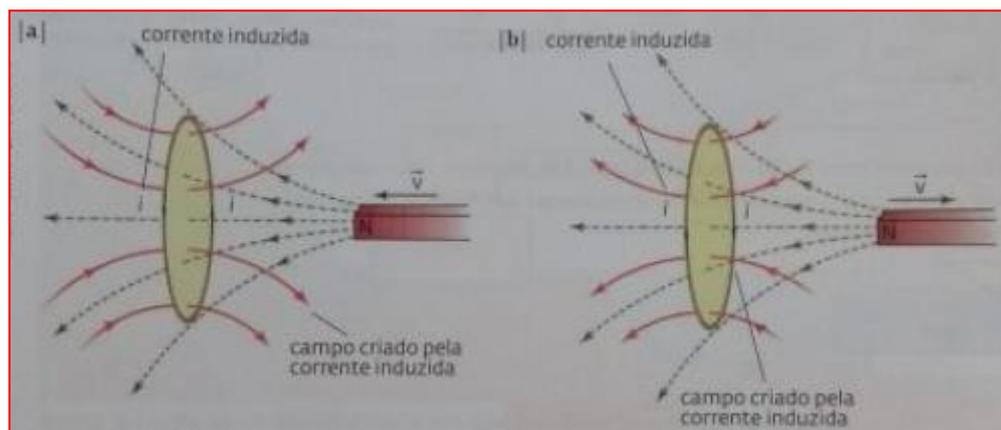


Figura 3.11: O campo magnético criado pelo ímã cria um fluxo magnético no interior da espira. Fonte: Curso de Física, 2014, p.236

A lei de Lenz trata, portanto, do princípio da conservação da energia, e do sentido das correntes induzidas. Para a compreensão da lei de Lenz, estes dois aspectos da teoria devem ser claramente ilustrados para o pleno auxílio do escolar em compreender o fenômeno.

3.2. ANÁLISE DAS IMAGENS DO LIVRO “CURSO DE FÍSICA”

Neste subcapítulo serão apontados de forma numérica, organizados em tabelas e gráficos, os dados coletados da obra “Curso de Física” dos autores Antônio Máximo e Beatriz Alvarenga, especificamente do capítulo 08 do volume 3, que trata do fenômeno de indução magnética. Espera-se que um olhar analítico sobre os dados coletados possa revelar a natureza ou o perfil didático de cada obra analisada, com resultados vislumbrados à luz da teoria semiótica, a qual foi apresentada nos capítulos anteriores. No total, o capítulo analisado apresenta 61 imagens vinculadas aos textos principais. A primeira categoria a ser observada é “A função da sequência didática em que aparecem as imagens”, apresentada no quadro 3.8.

3.2.1. A Função da sequência didática em que aparecem as imagens

Quanto à função da sequência didática em que aparecem as imagens, os dados estão primeiramente organizados no quadro 3.8 e no gráfico da figura 3.9, para que se possa visualizar o conjunto de dados recorrendo-se ao próprio objeto de pesquisa: as imagens. Nota-se um domínio das funções “aplicação” e “descrição”.

Quadro 3.8: A função da sequência didática em que aparecem as imagens.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade e de imagens |
|-----------------------|---|---|--|-----------------|-------------------------|
| 1 | A função da sequência didática em que aparecem as ilustrações | Para que as imagens são usadas, em que trechos de texto são colocadas | 1.1 | evocação | 6 |
| | | | 1.2 | definição | 11 |
| | | | 1.3 | aplicação | 26 |
| | | | 1.4 | descrição | 25 |
| | | | 1.5 | interpretação | 13 |
| | | | 1.6 | problematização | 3 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

Assim, apresentado o panorama quantitativo, que pode ser visualizado no quadro 3.8 e na figura 3.12 (gráfico), fica evidente que há um predomínio do uso das imagens quando os textos principais estão vinculados a explicações de novos conceitos ou à aplicação destes conceitos no cotidiano do estudante. A aplicação de conceitos no cotidiano está fortemente atrelada à contextualização do ensino, o que ajuda o estudante a compreender melhor o conceito apresentado. O Interpretante, ou seja, a imagem criada na mente do estudante assume um papel relevante, pois no estudo da indução magnética, muitas características do fenômeno não são visíveis, como é o caso dos campos de força ou da própria corrente elétrica. Os estudantes, neste caso, vinculam o aprendizado destes novos conceitos às imagens mentais específicas criadas a partir das representações utilizadas nos livros didáticos.

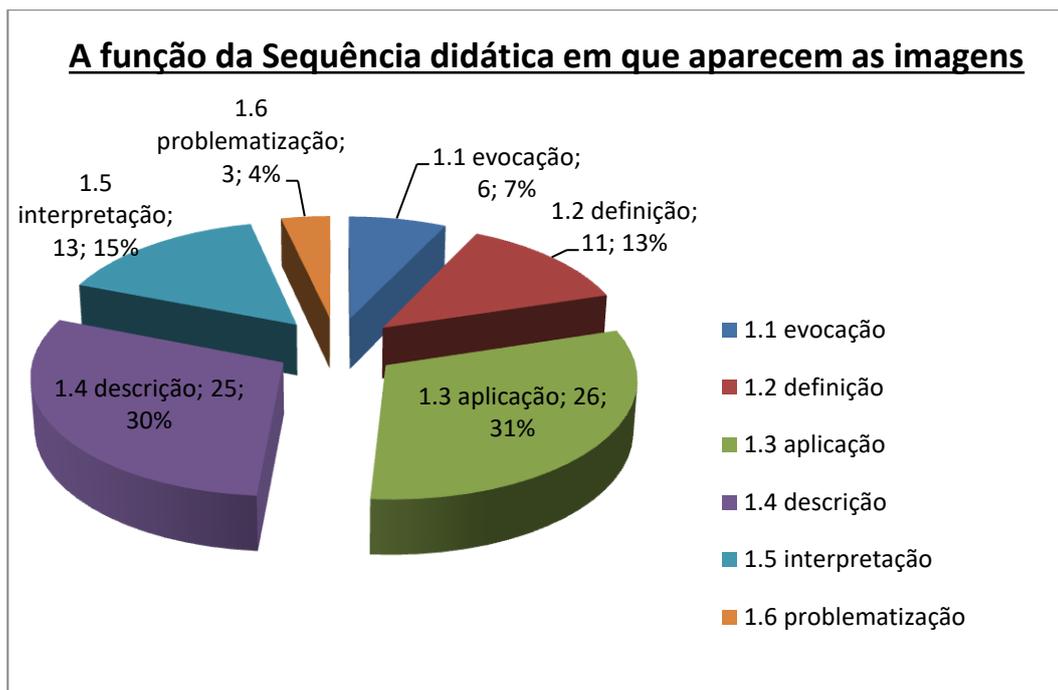


Figura 3.12. Gráfico da distribuição da quantidade de imagens em função da sequência didática em que aparecem as ilustrações

A descrição de fatos ou eventos que não fazem parte do cotidiano do estudante também são invocados com uma frequência significativa nos textos didáticos, nota-se uma predominância de 30% do total dos textos analisados voltados para a subcategoria “descrição”, que busca fornecer ao leitor uma aproximação com conceitos necessários para o discurso principal. Assim, ampliando horizonte conceitual do estudante, permite-se, nos termos de Lemke (1990), que este possa “falar ciências” com mais propriedade, pois a aprendizagem científica está vinculada à aquisição de novos conceitos científicos. Estes novos conceitos, quando relacionados ou associados à outros conceitos do sistema conceitual já conhecido do estudante, enriquecem o aprendizado promovendo o conhecimento científico em detrimento do conhecimento espontâneo, condição já abordada em Vigotski (2010).

As interpretações aparecem em sua maioria como passagens explicativas nas quais os conceitos teóricos envolvidos em um experimento são utilizados para descrever o fenômeno, representam 15% dos textos presentes nos capítulos da obra analisada.

As definições representam 13% dos textos nos capítulos da obra analisada, são casos em que o significado de um novo termo está estabelecido em seu contexto teórico.

As evocações representam trechos do texto didático que exploram experiências e conceitos do cotidiano do leitor. Estão presentes em 7% dos textos analisados. As imagens associadas às problematizações aparecem em menor número, observa-se na obra analisada o intenso uso de problematizações em exercícios de aprendizagem dos conceitos apresentados, a abordagem problematizadora não está fortemente vinculada aos textos principais. Quanto à subcategoria problematização, cabe aqui um esclarecimento, foi tomada a definição segundo a abordagem de Perales e Jiménez (2002), na qual, segundo o autor, há questões não retóricas que não podem ser resolvidas com os conceitos já definidos, a problematização consiste em incentivar os alunos a testar suas ideias ou estimular o interesse no assunto, apresentando problemas que posteriormente justificam uma interpretação ou uma nova abordagem. A importância deste tipo de atividade foi destacada por Ogborn (1996) no que ele chama de criação de diferenças entre o pensamento dos alunos e as ideias que eles querem apresentar.

Traremos alguns exemplos de imagens que demonstram a ocorrência nos livros textos analisados, de cada uma das subcategorias apresentadas: evocação, definição, aplicação, descrição, interpretação e problematização.

Na figura 3.13, é possível observar o uso de uma imagem vinculada ao texto principal que tem a função de apresentar a aplicação do conceito estudado, já no exemplo da figura 3.14 a função do texto principal é descrever e interpretar o fenômeno.

As imagens desta página estão representadas fora de proporção.

8.1 Força eletromotriz induzida

A produção de corrente elétrica requer o consumo de uma forma qualquer de energia. Até a época de Michael Faraday, porém, somente a energia química era transformada em energia elétrica, de maneira aproveitável, por meio de pilhas ou baterias. Mas esse processo não é adequado para produzir grandes quantidades de energia elétrica, como as necessárias para iluminar nossas cidades (figura 8.1) ou alimentar as indústrias.



Figura 8.1. A enorme quantidade de energia elétrica usada para iluminar as cidades é gerada graças ao fenômeno da indução eletromagnética.

Figura 3.13: Apresentando a aplicação do conceito de indução magnética. (Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.192.)

Atentando-se para as legendas das figuras 3.13, nota-se que o texto desperta a atenção do leitor a um problema específico ao evidenciar a enorme quantidade de energia elétrica usada para iluminar as grandes cidades. Tratar o grande consumo de energia elétrica nos principais centros urbanos perpassa pela problematização, na qual o conceito de indução magnética será relacionado à solução deste problema, ou seja, através da geração de energia elétrica por intermédio dos dínamos acionados pelas mais diferentes fontes de energia: hidrelétricas, nucleares, eólicas etc.

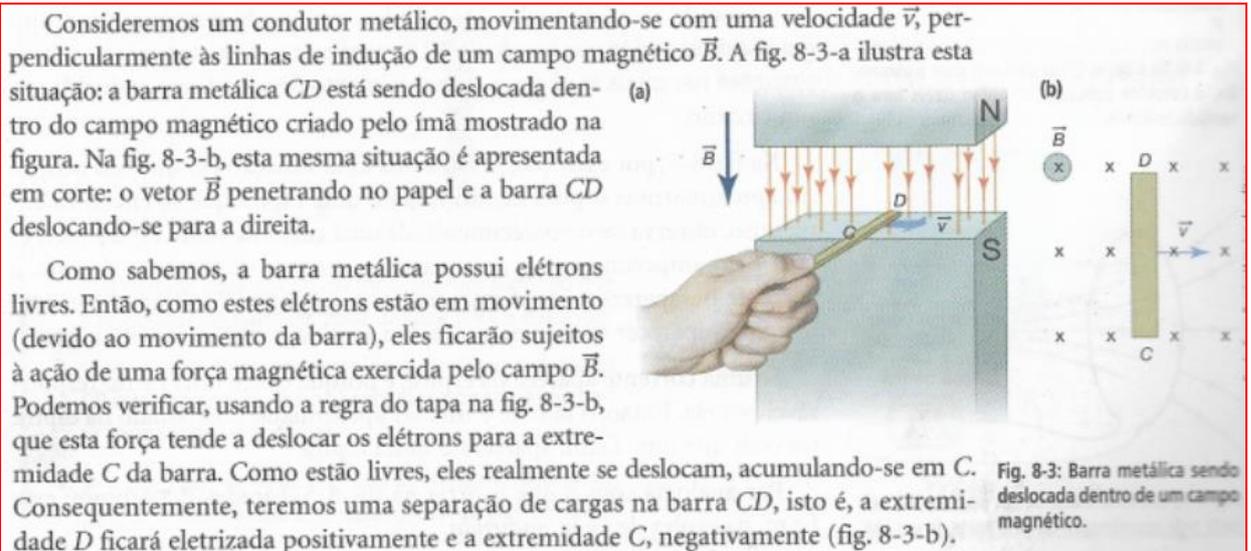


Figura 3.14: Descrevendo e interpretando o conceito de indução magnética.

(Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.225.)

A figura 3.15 ilustra a ocorrência de uma “interpretação” do fenômeno da indução magnética recorrendo-se ao uso de outros conceitos não pertinentes ao cotidiano do leitor, tais como a frequência e sua unidade de medida (hertz). Ao interpretar o fenômeno, o leitor expande seu horizonte conceitual ao subordinar o conceito de frequência no sistema conceitual pertinente à compreensão da indução magnética no estudo do eletromagnetismo.



Figura 3.15: Interpretando o conceito de indução magnética. (Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.192.)

3.2.2. Iconicidade

Com relação à iconicidade, nota-se uma expressiva predominância da categoria fotografia. De acordo com a semiótica peirciana, as fotografias são os tipos de representações que apresentam o mais alto grau de iconicidade, ou seja, são menos complexas, sua principal função é a de auxiliar o leitor a compreender o fenômeno estudado. Do total das 61 imagens analisadas, 22 delas (36 %) são fotografias, conforme evidenciado no quadro 3.9.

Em segundo lugar, em ordem decrescente de quantidade, encontram-se os desenhos esquemáticos. Essas ilustrações começam a introduzir o estudante no universo das imagens mais complexas, ou seja, aumenta-se a partir delas o grau de iconicidade, e exigem do estudante um determinado esforço na interpretação das figuras. Os desenhos esquemáticos são os mais complexos e menos utilizados, representam apenas 7% do total de figuras analisadas, estas exigem do aluno conhecimentos prévios sobre o assunto estudado, para que possam ser corretamente interpretadas. O quadro 3.9 apresenta a distribuição das figuras, em quantidade, relacionadas à cada uma das subcategorias subordinadas à categoria iconicidade. A figura 3.16 apresenta a distribuição de acordo com as porcentagens relativas e a quantidade total das figuras analisadas.

Quadro 3.9: distribuição das imagens de acordo com o grau de iconicidade.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade de Imagens |
|-----------------------|-------------|---|--|---------------------------------|-----------------------|
| 2 | Iconicidade | o grau de complexidade que têm imagens, e a aproximação com o objeto representado | 2.1 | fotografia | 22 |
| | | | 2.2 | desenho figurativo | 13 |
| | | | 2.3 | desenho esquemático | 4 |
| | | | 2.4 | desenho figurativo + sinais | 7 |
| | | | 2.5 | desenho esquemático + sinais | 5 |
| | | | 2.6 | sinais de descrição padronizada | 9 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

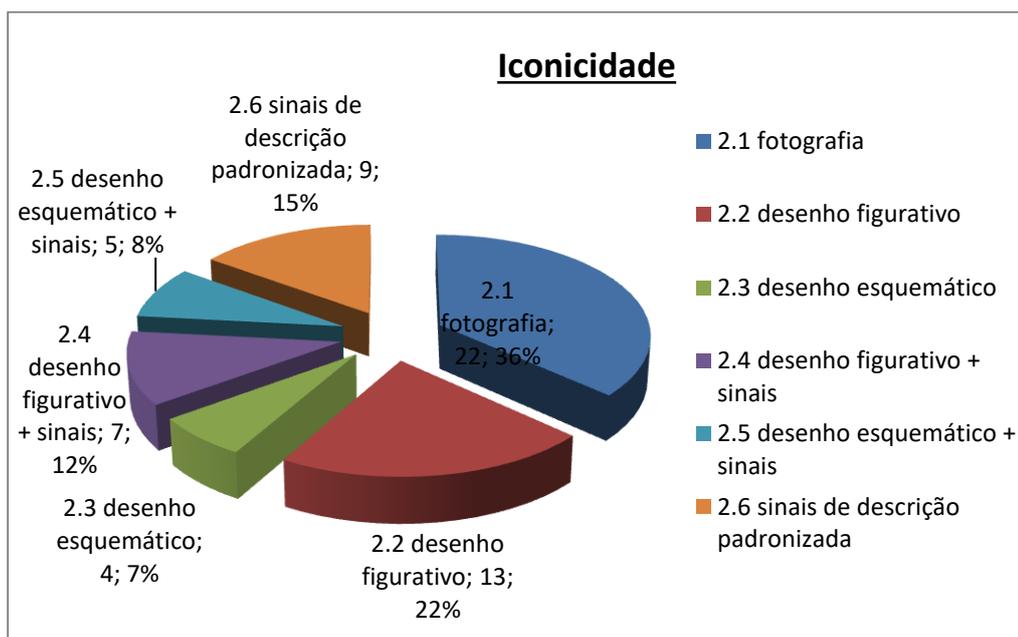


Figura 3.16: distribuição das imagens em função do grau de iconicidade.

As figuras com maior grau de complexidade estão em sua totalidade associadas a um texto explicativo, que, em geral, levam em consideração conhecimentos prévios do estudante. Normalmente não estão no início dos capítulos, mas no final ou logo após as introduções do conceito estudado. A figura 3.17 ilustra a utilização de um desenho figurativo mais os sinais padronizados. Neste caso, são padronizados o eixo de simetria e rotação (pontilhado), o amperímetro (A com um círculo em volta) é figurativo, e os vetores do campo magnético também é padronizado. Os ímãs (Norte e Sul), as espiras (E) e os coletores (F e G) são representados de forma figurativa.

O gerador de corrente alternada

Um dínamo é constituído, basicamente, por uma espira que gira dentro de um campo magnético. A **figura 8.13** representa uma espira metálica nessa situação, girando em torno do eixo EE' entre os polos de um ímã. Nas extremidades da espira existem dois anéis, C e D, que deslizam sobre os contatos F e G, os quais ligam a espira

a um circuito externo qualquer. Na figura, esse circuito externo é um amperímetro, usado para indicar a presença de corrente induzida.

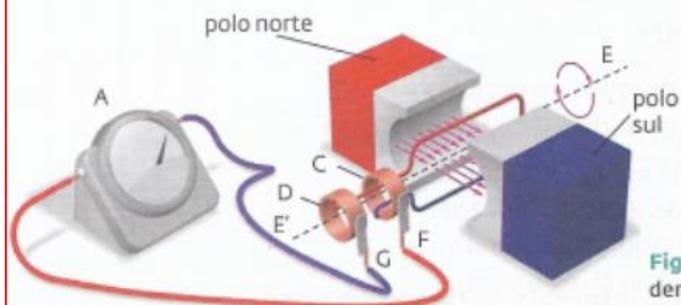


Figura 8.13. Uma espira girando dentro de um campo magnético produz uma corrente alternada.

Figura 3.17: Descrevendo o gerador de corrente alternada.

Fonte: Curso de *Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.198.)

Esse mesmo dispositivo é apresentado por intermédio de uma fotografia, conforme pode ser observado na figura 3.18. Nota-se que nesse caso, apenas o uso da fotografia não é o suficiente para que o estudante compreenda o conteúdo abordado no texto principal e o uso combinado dessas duas categorias torna-se fundamental para a compreensão dos conceitos trabalhados, pois embora a fotografia seja menos complexa, a compreensão do fenômeno está associada a detalhes que uma fotografia não pode representar. Aqui reside a importância das imagens híbridas, ou seja, a combinação de categorias diferentes em uma única imagem, que de acordo com Bungum (2008) permitem uma maior riqueza de detalhes.



Figura 3.18: Gerador de corrente alternada.

Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.231.)

A figura 3.19 é um exemplo de ilustração com sinais de descrição padronizada. A resistência (R), os conectores (N e M), os vetores (B), o eixo de simetria e rotação (E) e o circuito elétrico (C , D , F , G) são todas representações e simbólicas que têm regras sintáticas específicas. Cada um dos símbolos utilizados são convenções adotadas por uma comunidade de profissionais específicos. O estudante, ao tomar contato com essas formas de representação deve conhecer o sistema conceitual ao qual essa representação está associada. Com relação à funcionalidade, essa figura pertence à subcategoria sintática, ou seja, contém elementos cujo uso requer o conhecimento de regras específicas: vetores, circuitos elétricos, etc., porém é uma imagem que não está vinculada ao texto principal.

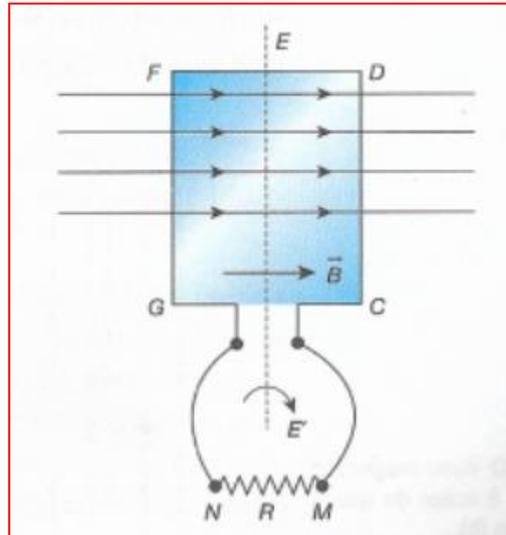


Figura 3.19: Gerador de corrente alternada.

Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.227.)

3.2.3. Funcionalidade

Com relação à funcionalidade, conforme mostra o quadro 3.10, a maioria das imagens presentes na obra analisada, 40 delas, que representam 70% do total analisados, são de formas inoperantes, ou seja, não contém nenhum elemento utilizável, apenas observável. O restante das imagens apresenta características operativas elementares, ou seja, contém elementos de representações universais, como croquis e cotas, porém não muito complexos. Os textos principais não trazem nenhuma imagem da categoria sintática, ou seja, que contém elementos cujo uso requer o conhecimento de regras específicas: vetores, circuitos elétricos, etc. vinculadas entre si. A figura 3.20, apresenta a distribuição das imagens nesta categoria em formato gráfico.

Quadro 3.10: Distribuição das imagens de acordo com a categoria Funcionalidade.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade de imagens |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|--|------------------------|-----------------------|
| 3 | Funcionalidade | o que se pode fazer com imagens | 3.1 | Inoperantes | 40 |
| | | | 3.2 | Operativas elementares | 17 |
| | | | 3.3 | Sintática | 0 |

Fonte: adaptação de Perales e Jiménez (2002)

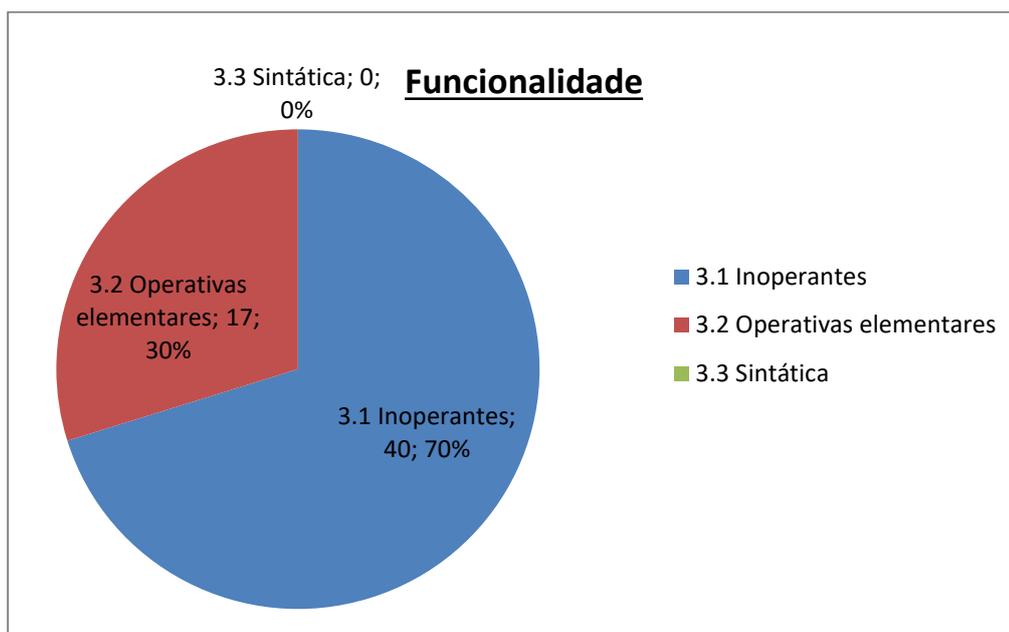


Figura 3.20: distribuição das imagens, conforme as categorias associadas à Funcionalidade das ilustrações.

Na figura 3.21 é possível observar um típico exemplo de ilustração associada e à subcategoria operativa elementar, ou seja, contém elementos de representações universais como os vetores de campo e velocidade do ímã, a indicação de sentido da corrente elétrica e a espira.

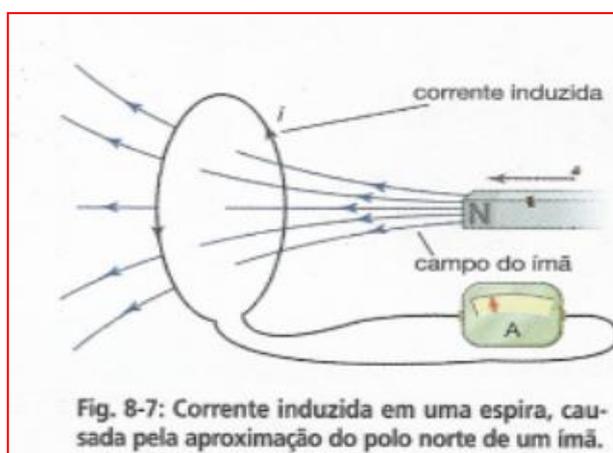


Figura 3.21: Indução magnética. Categoria operativa elementar.

Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.226.)

3.2.4.

3.2.5. Relação com o Texto Principal

3.2.6.

O quadro 3.11 traz a distribuição das figuras de acordo com as categorias Relação com o texto principal e suas subcategorias. A figura 3.18 ilustra o vínculo entre a imagem e o texto principal, nota-se que o texto faz referências à imagem enquanto descreve o fenômeno estudado. A figura 3.19 traz esta distribuição de forma gráfica.

Quadro 3.11: Distribuição das imagens de acordo com a categoria Relação com o texto principal, e suas subcategorias.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|-------------------------------|--|--|------------|------------|
| 4 | Relação com o texto principal | Referências mútuas entre texto e imagem ou ajudas para interpretação | 4.1 | conotativo | 0 |
| | | | 4.2 | denotativo | 54 |
| | | | 4.3 | sinótica | 5 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

Na figura 3.22, nota-se que mesmo quando o vínculo entre o texto e a imagem é evidente, há uma indicação textual deste vínculo entre texto e imagem. Apenas 8% do total das ilustrações estão apresentadas como sinóticas.

Por analogia com o que ocorre no exemplo da **figura 8.4**, Faraday chamou essa f.e.m. na espira de **f.e.m. induzida**.

A **figura 8.8** também ilustra um caso em que Faraday observou o aparecimento de uma f.e.m. induzida. No instante em que a chave C é fechada, estabelecendo uma corrente na bobina F, o amperímetro A acusa o aparecimento de uma corrente induzida na bobina G. Enquanto C permanece fechada, isto é, enquanto existe uma corrente estável em F, não se observa corrente induzida em G. Entretanto, no instante em que se desliga a chave C, a corrente induzida reaparece na bobina G, em sentido contrário ao anterior.

Analisando inúmeras outras experiências semelhantes a essas que descrevemos, Faraday conseguiu descobrir que havia um fato comum em todos os casos em que aparece uma f.e.m. induzida. O resultado de suas observações foi expresso em uma lei básica do Eletromagnetismo, que estudaremos na seção seguinte.

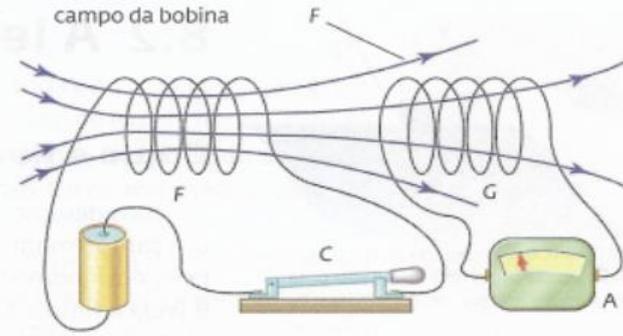


Figura 8.8. No instante em que a chave C é aberta ou fechada, aparece, na bobina G, uma corrente induzida.

As ilustrações desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Figura 3.22: Indução magnética. Categoria: Relação com o texto principal denotativa.

Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.195.)

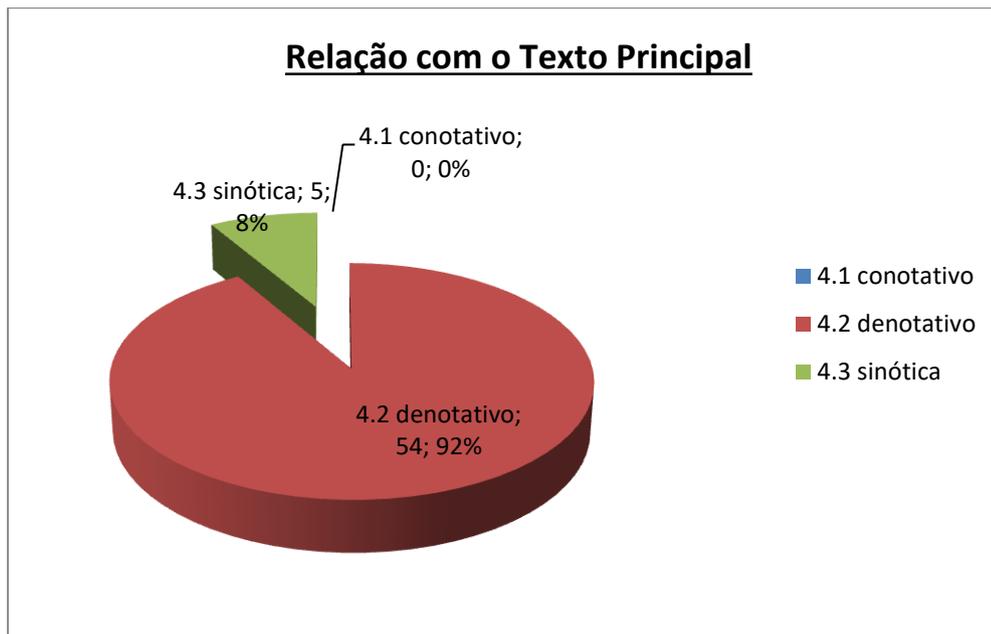


Figura 3.23: distribuição das imagens, conforme as categorias associadas á relação com o texto principal

3.2.5. Legendas

As legendas são de importância fundamental para a compreensão das imagens e, em consequência, dos fenômenos estudados. É através das legendas que se cria o vínculo entre o texto principal, a imagem e a compreensão do leitor. Quanto maior a iconicidade de uma imagem, mais próxima ela está do objeto real representado, sendo então menor a necessidade de legendas e explicações relacionadas a essa imagem, como mostra Perales e Jimenez (2002). Porém, mesmo diante da clareza das fotografias, as quais compreendem a maioria das imagens presentes na obra analisada, as legendas não ficam à margem de utilização, todas as imagens, mesmo sendo fotografias, apresentam legendas. As legendas contidas nas figuras 3.14 da página 82, 3.15 da página 82 e 3.17 da página 85 são típicas aplicações de legendas relacionais, ou seja, textos que descrevem as relações entre os elementos da ilustração.

O quadro 3.12 traz a distribuição das imagens, de acordo com as aplicações das legendas. A figura 3.24 traz a mesma distribuição na forma gráfica. A figura 3.25

traz um exemplo de ilustração sem legenda. Neste caso, nota-se que a imagem não está associada a um conceito ou interpretação de fenômeno, sobretudo a sua relação com o texto principal é autoevidente.

O quadro 3.12 : distribuição das imagens, de acordo com as aplicações das legendas.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade de imagens |
|-----------------------|----------|----------------------------------|--|--------------|-----------------------|
| 5 | Legendas | Textos incluídos nas ilustrações | 5.1 | sem legendas | 4 |
| | | | 5.2 | nominativas | 1 |
| | | | 5.3 | relacional | 55 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

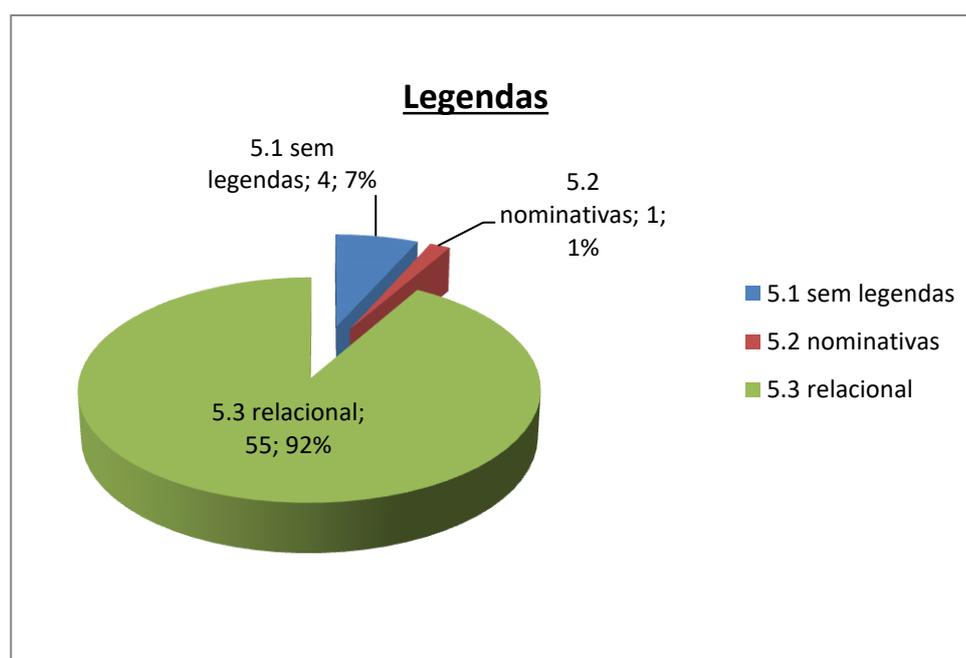


Figura 3.24: distribuição das imagens, conforme as legendas

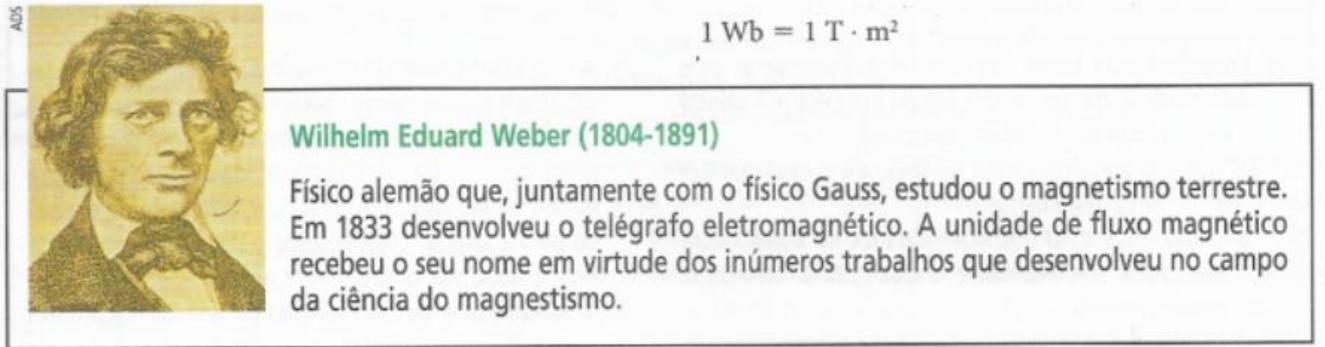


Figura 3.25: Exemplo de ilustração sem legenda.

(Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.238.)

3.2.6. Cores

Em sua maioria, 95% delas, as imagens são coloridas. Apenas 5% delas são imagens monocromáticas, como as apresentadas na figura 3.25. Todas as imagens monocromáticas presente no livro são fotografias de personagens históricos, tais como cientistas e inventores associados ao conteúdo estudado. O quadro 3.13 e a figura 3.26 ilustram essa distribuição.

Quadro 3.13: distribuição das imagens de acordo com as cores

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|-------|-------------------|--|---------------|------------|
| 6 | Cores | Cores das imagens | 6.1 | colorida | 58 |
| | | | 6.2 | monocromática | 3 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

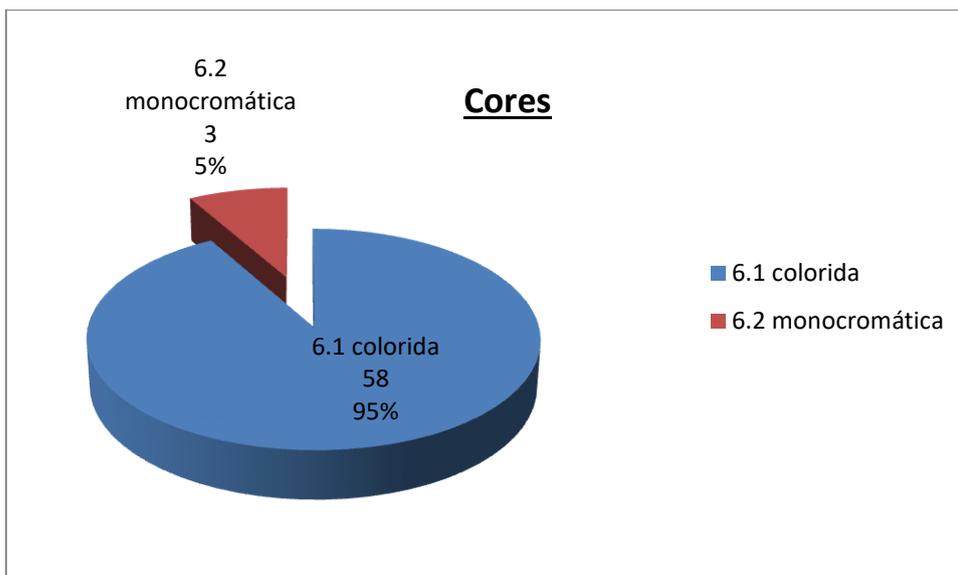


Figura 3.26: Distribuição das ilustrações de acordo com as cores.

3.2.7. O conteúdo Científico que a imagem sustenta

A despeito dos conceitos analisados anteriormente, cabe investigar para cada um a apresentação de seu conteúdo científico por intermédio das imagens, ou seja, se as imagens que reproduzem estes conceitos se apoiam ou não em representações-chave para a sua correta interpretação. Dos conceitos científicos analisados, destacam-se: Lei de Faraday, Campo elétrico e Magnético, Corrente Induzida e Lei de Lenz.

O quadro 3.14 apresentado abaixo traz a síntese de como as imagens, os conceitos e o conteúdo científico estão distribuídos no capítulo sobre indução magnética na obra Curso de Física. A primeira coluna, intitulada “conceito científico” trata do conceito analisado. A segunda coluna, intitulada “conteúdo científico” trata dos conteúdos científicos julgados fundamentais para a compreensão do conceito, a terceira coluna apresenta a quantidade de imagens associadas ao conteúdo científico em questão.

Para a lei de Faraday duas imagens estão representando a variação do fluxo magnético, nenhuma representam a variação da área e três imagens representam a variação do ângulo. As imagens associadas à variação do ângulo geralmente estão

associadas às aplicações práticas e ilustrações de experimentos, pois estão relacionadas diretamente com a geração de energia elétrica. A rotação do eixo de um gerador elétrico implica diretamente na variação do ângulo que fundamenta a lei de Faraday. A variação de fluxo magnético está relacionada a experimentos com transformadores ou à movimentação de ímãs para gerar corrente elétrica detectada em amperímetros nos laboratórios de estudo.

Quadro 3.14: quantidade de imagens e conceitos relacionados na obra Curso de Física, 2012

| Conceito científico | Conteúdo científico | Quantidade de imagens (Curso de Física) |
|----------------------------|---------------------------------------|---|
| lei de Faraday | variação do fluxo magnético (B) | 2 |
| | variação da área (A) | 0 |
| | variação do ângulo (θ) | 3 |
| campo elétrico e magnético | linhas infinitas | 0 |
| | inexistência de monopolos magnéticos | 0 |
| | origem e fim das linhas de campo | 3 |
| corrente induzida | Corrente Contínua/ Corrente Alternada | 4 |
| | natureza das correntes elétricas | 0 |
| lei de Lenz | conservação da energia | 0 |
| | sentidos da corrente | 2 |

Fonte: o autor

Para o conceito de campo magnético é fundamental a abordagem da inexistência de monopolos magnéticos e a origem e fim das linhas de campo. A inexistência de monopolos magnéticos não é tratada em nenhum momento no capítulo sobre indução magnética, não há registros que representem este conceito, porém estão representados em outros capítulos da obra. Quanto à origem e fim das linhas de campo, ou seja, que podem se originar no infinito (cargas positivas) ou findarem no infinito (cargas negativas) é possível observar 3 registros que remetem a este conteúdo científico.

Sobre a corrente induzida é de fundamental importância abordar a natureza da corrente elétrica, ou seja, o movimento ordenado de portadores de cargas elétricas na superfície de um condutor de eletricidade, bem como a forma deste movimento,

seja alternado, para correntes alternadas, ou contínuo, para corrente contínua. Sobre a forma do movimento das cargas não há registros que abordem este conteúdo científico. A natureza da corrente elétrica também fica à margem de discussão, ou seja, toda a discussão sobre o conceito científico gira em torno das formas de reprodução do fenômeno.

A lei de Lenz apoia-se em dois conteúdos científicos fundamentais: a conservação da energia e o sentido da corrente elétrica induzida. A conservação da energia é princípio fundamental na natureza, porém não há registros deste princípio associado à lei de Lenz na sequência didática analisada, toda a discussão do conceito gira em torno do sentido da corrente elétrica induzida com 2 imagens representando este conceito.

As figuras 3.27, 3.28 e 3.29 apresentam a sequência didática que introduz o conceito de força eletromotriz induzida na obra “Curso de Física”. É evidente a predominância de figuras com baixo índice de iconicidade, tais como fotografias e desenhos figurativos. Duas páginas e meia são dedicadas à exposição do assunto apresentando exemplos com uma sequência pela qual perpassam os conceitos de campo magnético e corrente induzida.

Sabemos que a produção de corrente elétrica requer o consumo de uma forma qualquer de energia. Até a época de Faraday, porém, somente a energia química era transformada em energia elétrica, de maneira aproveitável, através de pilhas ou baterias. Mas este processo não é adequado para produzir grandes quantidades de energia elétrica, como são as necessárias para iluminar nossas cidades (fig. 8-1) ou alimentar as indústrias.

Em 1831, Faraday descobriu o fenômeno da indução eletromagnética, que provocou uma verdadeira revolução no estudo do Eletromagnetismo. Graças a esta descoberta, foi possível construir os *dínamos*, que são aparelhos cujo funcionamento se baseia no fenômeno da indução eletromagnética e que transformam energia mecânica (de uma queda-d'água, por exemplo) em energia elétrica. A fotografia da fig. 8-2 mostra um grande dínamo de uma moderna usina hidrelétrica, capaz de gerar enormes quantidades de energia elétrica.

Neste capítulo, analisaremos o trabalho de Faraday sobre o fenômeno da indução eletromagnética, descreveremos como esta pesquisa foi utilizada na construção dos dínamos e dos transformadores e mostraremos como o grande físico escocês J. Maxwell desenvolveu a teoria das ondas eletromagnéticas apoiando-se nas descobertas de Faraday.



Fig. 8-1: A enorme quantidade de energia elétrica, usada para iluminar as grandes cidades, é gerada graças ao fenômeno da indução eletromagnética. Foto aérea noturna da cidade de Paris, FR.



Fig. 8-2: Dínamo de uma grande usina hidrelétrica.

Condutor em movimento dentro de um campo magnético

Consideremos um condutor metálico, movimentando-se com uma velocidade \vec{v} , perpendicularmente às linhas de indução de um campo magnético \vec{B} . A fig. 8-3-a ilustra esta situação: a barra metálica CD está sendo deslocada dentro do campo magnético criado pelo ímã mostrado na figura. Na fig. 8-3-b, esta mesma situação é apresentada em corte: o vetor \vec{B} penetrando no papel e a barra CD deslocando-se para a direita.

Como sabemos, a barra metálica possui elétrons livres. Então, como estes elétrons estão em movimento (devido ao movimento da barra), eles ficarão sujeitos à ação de uma força magnética exercida pelo campo \vec{B} . Podemos verificar, usando a regra do tapa na fig. 8-3-b, que esta força tende a deslocar os elétrons para a extremidade C da barra. Como estão livres, eles realmente se deslocam, acumulando-se em C . Consequentemente, teremos uma separação de cargas na barra CD , isto é, a extremidade D ficará eletrizada positivamente e a extremidade C , negativamente (fig. 8-3-b).

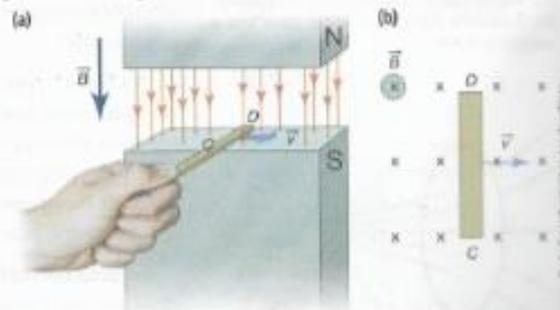


Fig. 8-3: Barra metálica sendo deslocada dentro de um campo magnético.

Figura 3.27: Apresentando a força eletromotriz induzida. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.224.)

O texto inicia a discussão a partir de exemplos do cotidiano do estudante, tais como a utilização e a geração da energia elétrica. A sequência didática perpassa por aspectos históricos dos conceitos estudados, porém, sem fazer profundas conexões com a História ao todo. As fotografias presentes não trazem maiores detalhes do fenômeno estudado, assumindo, portanto, um papel meramente ilustrativo. As

figuras com menor índice de iconicidade tendem a se aprofundar mais na abordagem e nos detalhes dos conceitos estudados.

As imagens desta página estão em apresentação fora de proporção.

8.1 Força eletromotriz induzida

A produção de corrente elétrica requer o consumo de uma forma qualquer de energia. Até a época de Michael Faraday, porém, somente a energia química era transformada em energia elétrica, de maneira aproveitável, por meio de pilhas ou baterias. Mas esse processo não é adequado para produzir grandes quantidades de energia elétrica, como as necessárias para iluminar nossas cidades (figura 8.1) ou alimentar as indústrias.

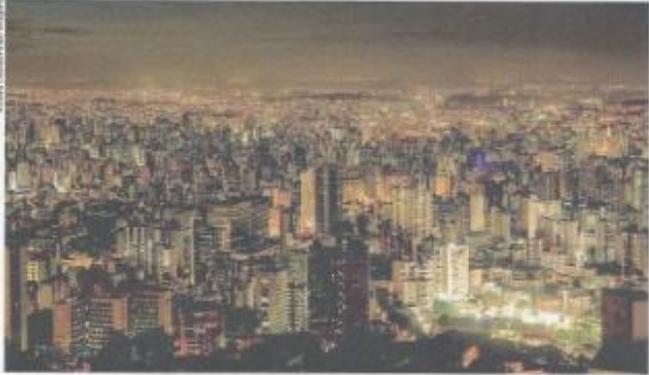


Figura 8.1. A enorme quantidade de energia elétrica usada para iluminar as cidades é gerada graças ao fenômeno da indução eletromagnética. Belo Horizonte (MG), 2014.

Em 1831, Faraday descobriu o fenômeno da indução eletromagnética, que provocou uma verdadeira revolução no estudo do Eletromagnetismo. Graças a essa descoberta, foi possível construir os **dinamos**, que são aparelhos cujo funcionamento se baseia no fenômeno da indução eletromagnética e que transformam energia mecânica de uma queda-d'água, por exemplo, em energia elétrica. A fotografia da figura 8.2.a mostra um grande dinamo, de uma moderna usina hidrelétrica, capaz de gerar enormes quantidades de energia elétrica.

Na figura 8.2.b um ciclista, ao pedalar, produz eletricidade para acender uma lanterna com um dinamo. O dinamo, que está acoplado à roda da bicicleta, faz um eixo girar produzindo a oscilação dos polos norte e sul. Por meio de indução eletromagnética, ocorre a geração de energia elétrica que possibilita acender a lanterna.



Figura 8.2. Em a temos parte da Usina Hidrelétrica de Itaipu. Eletroímãs potentes giram gerando corrente de acordo com o fenômeno de indução eletromagnética. Em b, utilizando um dinamo acoplado à roda de uma bicicleta, é possível acender uma lanterna (energia elétrica) enquanto o ciclista estiver pedalando (energia mecânica). Representação sem escala e em cores fantasia.

Figura 3.28: Apresentando a força eletromotriz induzida. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.192)

Observe, entretanto, que esta descoberta de Faraday se constitui em um fato inteiramente novo, que não pode ser explicado baseando-se em leis estabelecidas anteriormente dentro do campo do Eletromagnetismo (ao contrário, no caso da fig. 8-5, foi possível explicar o aparecimento da f.e.m. com conhecimentos já estudados).

Também no caso da fig. 8-8, Faraday observou o aparecimento de uma f.e.m. induzida. No instante em que a chave C é fechada, estabelecendo uma corrente na bobina F, o amperímetro A acusa o aparecimento de uma corrente induzida na bobina G. Enquanto C permanece fechada, isto é, enquanto existe uma corrente estável em F, não se observa corrente induzida em G. Entretanto, no instante em que se desliga a chave C, a corrente induzida reaparece na bobina G, em sentido contrário ao anterior.

Analisando inúmeras outras experiências semelhantes a estas que descrevemos, Faraday conseguiu descobrir que havia um fato comum em todos os casos em que aparece uma f.e.m. induzida. O resultado de suas observações foi expresso em uma lei básica do Eletromagnetismo, que estudaremos na seção seguinte.

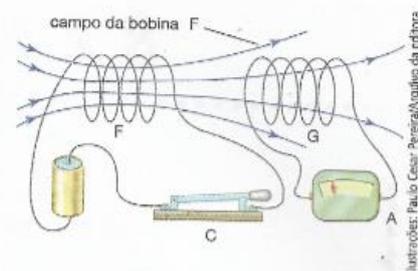


Fig. 8-8: No instante em que a chave C é aberta ou fechada, aparece, na bobina G, uma corrente induzida.

Figura 3.29: Apresentando a força eletromotriz induzida. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.226.)

Conforme se diminui o grau de iconicidade das imagens, tornando-se mais complexas, uma maior aproximação com as características abstratas do fenômeno é observada. Nesse instante o estudante assume a responsabilidade pela aprendizagem e internalização do conhecimento aí tratado, ou seja, seu esforço intelectual no ato da interpretação das figuras, que caracteriza um pensamento próprio, é responsável por introduzir este conceito como parte integrante de seu sistema de pensamentos, estabelecendo entre estes conceitos uma conexão sólida e organizada que permite coerência no modo de pensar. De acordo com Vigotski (2010) os conceitos científicos se distinguem dos conceitos espontâneos justamente por seu caráter coerente e não ambíguo, bem como pela tomada de consciência, assim como se distingue o conhecimento científico do senso comum.

Assim, ao tratar o assunto a partir dos conceitos mais gerais, tais como a indução magnética, para os conceitos mais particulares, tais como fluxo magnético e corrente induzida, espera-se conduzir o estudante num movimento progressivo de compreensão auxiliando-o na aquisição e compreensão do tecido conceitual pertinente a fenômeno

8.2 A lei de Faraday

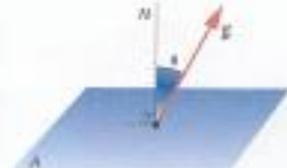


Figura 8.9. O fluxo magnético, ϕ , através da superfície A , é dado pela expressão $\phi = BA \cos \theta$.

As ilustrações desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

O que é fluxo magnético

Consideremos uma superfície plana, de área A , colocada dentro de um campo magnético uniforme \vec{B} . Traçando uma perpendicular à superfície, designemos por θ o ângulo formado por essa normal N com o vetor \vec{B} (veja a [figura 8.9](#)). O fluxo magnético através dessa superfície é representado pela letra grega ϕ (fi) e definido pela seguinte expressão:

$$\phi = BA \cos \theta$$

No SI, a unidade de fluxo magnético é denominada 1 weber = 1 Wb, em homenagem ao físico alemão do século XIX W. Weber (1804-1891). Então, medindo-se B em tesla (T) e A em metro quadrado (m^2), teremos:

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot m^2$$

O conceito de fluxo magnético através de uma superfície pode ser interpretado em termos do número de linhas de indução que atravessam essa superfície: quanto maior for esse número, maior será o valor de ϕ . Por exemplo, na [figura 8.10](#) temos duas superfícies de áreas iguais, colocadas em campos magnéticos diferentes. Em [a](#) temos um campo magnético mais intenso do que em [b](#), porque as linhas de indução do campo \vec{B}_1 estão mais próximas umas das outras do que as do campo \vec{B}_2 .

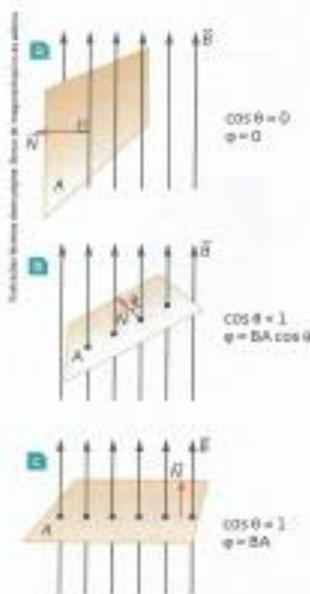


Figura 8.11. O fluxo magnético através de uma superfície depende da inclinação desta em relação ao vetor \vec{B} .

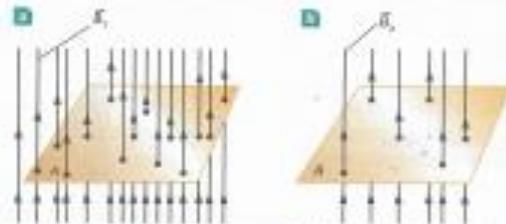


Figura 8.10. O fluxo magnético ϕ_1 em [a](#) é maior do que o fluxo ϕ_2 em [b](#).

O número de linhas que furam a superfície, na [figura 8.10.a](#), é maior do que na [figura 8.10.b](#), isto é, o valor do fluxo ϕ_1 é maior do que ϕ_2 . Observe que esse resultado está de acordo com a expressão $\phi = BA \cos \theta$, a qual nos mostra que quanto maior for o valor de B , maior será o valor do fluxo ϕ .

Quanto maior for a área da superfície colocada em um dado campo \vec{B} , maior será o número de linhas de indução que furam a superfície, isto é, maior será o valor do fluxo. Esse resultado também está de acordo com a relação $\phi = BA \cos \theta$, ou seja, quanto maior for A , maior será ϕ .

Finalmente, devemos observar que o valor de ϕ depende do ângulo θ , isto é, o fluxo magnético através de uma superfície depende da inclinação desta em relação ao vetor \vec{B} . A [figura 8.11](#) ilustra esse fato em termos das linhas de indução que passam através de uma determinada superfície A : na [figura 8.11.a](#), nenhuma linha de indução está atravessando a superfície e, portanto, temos $\phi = 0$; na [figura 8.11.b](#), a inclinação da superfície foi modificada e já temos um certo fluxo ϕ através dela; já na [figura 8.11.c](#), estando a superfície perpendicular a \vec{B} , temos um valor máximo para o fluxo ϕ .

Figura 3.30: Apresentando a Lei de Faraday. Fonte: Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.196.)

A lei de Faraday, figura 3.30, é apresentada de forma mais abstrata, dada a natureza do próprio assunto. As ilustrações referentes a este conceito apresentam

um baixo grau de iconicidade e alta carga simbólica. Para os símbolos presentes, tais como os vetores, assume-se como pressuposto que já são conhecidos dos estudantes, porém o mais baixo grau de iconicidade do fenômeno se revela em sua expressão matemática, ou seja, nas fórmulas que descrevem a relação entre a força eletromotriz, o fluxo magnético e o intervalo de tempo.

Evidentemente, o número de linhas que furam a superfície, na figura (a), é maior do que na figura (b), isto é, o valor do fluxo Φ , é maior do que Φ_0 . Observe que este resultado está de acordo com a expressão $\Phi = BA \cos \theta$, a qual nos mostra que quanto maior for o valor de B , maior será o valor do fluxo Φ .

Quanto maior for a área da superfície colocada em um dado campo \vec{B} , maior será o número de linhas de indução que furam a superfície, isto é, maior será o valor do fluxo. Este resultado também está de acordo com a relação $\Phi = BA \cos \theta$ (quanto maior for A , maior será Φ).

Finalmente, devemos observar que o valor de Φ depende do ângulo θ , isto é, o fluxo magnético através de uma superfície depende da inclinação desta superfície em relação ao vetor \vec{B} . A fig. 8-11 ilustra este fato em termos das linhas de indução que passam através de uma determinada superfície A : em (a), nenhuma linha de indução está furando a superfície e, portanto, temos $\Phi = 0$; em (b), a inclinação da superfície foi modificada e já temos um certo fluxo Φ através dela e, em (c), estando a superfície perpendicular a \vec{B} , temos um valor máximo para o fluxo Φ .

Fig. 8-11: O fluxo magnético através de uma superfície depende da inclinação da superfície em relação ao vetor \vec{B} .

A lei de Faraday

Como dissemos na seção anterior, Faraday conseguiu perceber que havia um fato comum em todas as situações nas quais aparecia uma f.e.m. induzida. Analisando o grande número de experiências que ele mesmo realizou, Faraday verificou que *sempre que uma f.e.m. induzida aparecia em um circuito, estava ocorrendo uma variação do fluxo magnético através deste circuito.*

De fato, na experiência mostrada na fig. 8-5, em virtude do movimento da barra para a direita, a área do circuito dentro do campo magnético está aumentando. Assim, o fluxo Φ através do circuito está aumentando e há uma f.e.m. induzida neste circuito. Quando o movimento da barra é interrompido, embora exista um fluxo magnético através do circuito, este fluxo não está variando e, nestas condições, não há f.e.m. induzida. Na fig. 8-6, temos uma diminuição do fluxo através do circuito (área diminuindo) e, novamente, observamos o aparecimento de uma f.e.m. induzida.

Da mesma forma, quando o ímã é aproximado ou afastado da espira na fig. 8-7, o fluxo magnético através desta espira está variando e, mais uma vez, uma f.e.m. é induzida no circuito.

No caso da fig. 8-8, quando a chave C é fechada, a corrente que é estabelecida na bobina F cria um campo magnético que causa um fluxo através da bobina G. Portanto, o fluxo Φ através de G aumenta de zero até um certo valor e uma f.e.m. induzida aparece nesta bobina. Enquanto a chave C permanece fechada, a corrente em F mantém-se constante e, portanto, será também constante o fluxo através da bobina G. Nestas condições, não há f.e.m. induzida em G. No instante em que a chave C é aberta, o fluxo que existia em G desaparece (o fluxo em G diminui) e verifica-se, novamente, o aparecimento de uma f.e.m. induzida.

Figura 3.31: Apresentando a Lei de Faraday. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.196.)

Nota-se a ausência de congruência semântica entre a formulação matemática e o enunciado textual da Lei de Faraday, ou seja, as duas representações são formas de registros diferentes, porém com as mesmas unidades significantes: força eletromotriz, fluxo magnético, intervalo de tempo e a condição de igualdade que caracteriza uma equação. Para que haja congruência ou correspondência semântica entre as duas formas de representações, deve ser estabelecida uma correspondência associativa entre as unidades significantes elementares que constituem cada registro. Assim o enunciado textual da Lei de Faraday poderia ser descrito como: “A força eletromotriz induzida é diretamente proporcional à variação do Fluxo Magnético e inversamente proporcional à variação de tempo”. Ou ainda: “A força eletromotriz induzida é igual à intensidade do Fluxo Magnético dividido pela Variação do tempo.”

Portanto, a f.e.m. induzida apareceu em todos os casos nos quais estava havendo uma variação do fluxo magnético. Além disso, Faraday observou que o valor da f.e.m. induzida era tanto maior quanto mais rapidamente se processasse a variação do fluxo através do circuito. Mais precisamente, ele verificou que, se durante um intervalo de tempo Δt o fluxo magnético através de um circuito variar de $\Delta\phi$, haverá, nesse circuito, uma f.e.m. induzida dada por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

O fenômeno do aparecimento de uma f.e.m. induzida foi denominado **indução eletromagnética** e o resultado que acabamos de estudar tornou-se conhecido como **lei de Faraday da indução eletromagnética**. Essa lei, fundamental para o estudo dos fenômenos eletromagnéticos, pode ser assim resumida:

Lei de Faraday (da indução eletromagnética)

Sempre que ocorrer uma variação do fluxo magnético através de um circuito, aparecerá, nesse circuito, uma f.e.m. induzida. O valor dessa f.e.m., ε , é dado por:

$$\varepsilon = \frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

em que $\Delta\phi$ é a variação do fluxo observada no intervalo de tempo Δt .

Figura 3.32: Apresentando a Lei de Faraday. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.197.)

De acordo com Duval (2009), observa-se que uma correspondência termo a termo entre as unidades significantes é suficiente para facilitar a conversão de uma forma de registro em outro. O aprendizado e a compreensão estão fortemente vinculados à capacidade do estudante em converter uma forma de registro em outra, ou seja, linguagem textual para linguagem matemática e linguagem simbólica ou o contrário, linguagem simbólica ou matemática para linguagem textual. No caso da existência de congruência entre as diversas formas de registros, estudos revelam que a conversão de uma forma à outra é quase que imediata pelos escolares, porém no caso de não congruência, essa conversão se mostra dificultosa ou até mesmo impossível.

8.3 A lei de Lenz

O sentido da corrente induzida

Já analisamos diversas situações nas quais a corrente induzida aparece no circuito, ora em um sentido, ora em sentido contrário. Por exemplo, para condições como a mostrada na figura 8.21 dissemos que, quando o ímã se aproxima da espira, a corrente aparece em um determinado sentido (figura 8.21.a) e, quando o ímã se afasta, a corrente aparece na espira em sentido contrário ao anterior (figura 8.21.b).

Embora Faraday tivesse percebido esse fenômeno, ele não conseguiu chegar a uma lei que indicasse como determinar o sentido da corrente induzida. Entretanto, em 1834, alguns anos após a divulgação dos trabalhos de Faraday, o cientista H. Lenz apresentou uma "regra", hoje conhecida como lei de Lenz, que permite resolver esse problema.

Figura 8.21. A corrente induzida na espira aparece com sentido tal que o campo magnético que ela cria tende a contrariar a variação de fluxo através dessa espira. Representação sem escala e com cores fantasias.

A lei de Lenz

Consideremos novamente a figura 8.21. Quando o ímã é aproximado da espira, verifica-se que a corrente nela induzida aparece com o sentido indicado na figura. Essa corrente cria um campo magnético cujo sentido pode ser determinado pela regra de Ampère. Aplicando essa regra, verificamos que o campo magnético criado pela corrente induzida tem, no interior da espira, o sentido mostrado na figura 8.21.a. Observe que o sentido desse campo é contrário ao do campo magnético do ímã.

Considerando, agora, a figura 8.21.b, vemos que, quando o ímã é afastado da espira, a corrente induzida aparece em sentido contrário ao anterior. Usando novamente a regra de Ampère, verificamos que o campo magnético criado pela corrente induzida tem, nesse caso, o mesmo sentido do campo magnético do ímã (veja a figura).

Podemos resumir essas observações da seguinte maneira:

- 1ª) Quando o fluxo magnético através da espira está **aumentando** (figura 8.21.a), a corrente induzida tem um sentido tal que o campo magnético por ela criado tende a **diminuir** o fluxo através da espira (o campo da corrente induzida, dentro da espira, tem sentido contrário ao campo magnético do ímã).
- 2ª) Quando o fluxo magnético através da espira está **diminuindo** (figura 8.21.b), a corrente induzida tem um sentido tal que o campo magnético por ela criado tende a **aumentar** o fluxo através da espira (o campo da corrente induzida, dentro da espira, tem o mesmo sentido do campo magnético do ímã).

HEINRICH F. E. LENZ
(1804-1865)
Físico alemão nascido no Império Russo que estudou a eletricidade e esta balança o sentido das correntes induzidas. Lenz estudou também a dependência da resistência elétrica em relação à temperatura.

Figura 3.33: Apresentando a Lei de Lenz. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.203.)

A sequência didática que apresenta a Lei de Lenz é predominantemente composta da forma textual. Nota-se o uso de desenhos figurativos mais sinais padronizados para a ilustração do fenômeno, as figuras em si apresentam alta iconicidade, mesclada a uma pequena parte simbólica que se resume a vetores, linhas de campo e indicações de polaridades. Uma breve indicação histórica é presente na sequência didática, porém sem maiores pretensões. A formulação matemática deste conceito não foi utilizada no capítulo analisado.

As ilustrações desta página estão representadas sem escala e em cores fantasia.

Após realizar uma série de experiências semelhantes a essa, Lenz chegou à conclusão de que esse comportamento da corrente induzida era observado em todos os casos analisados. Ele sintetizou, então, suas observações da seguinte maneira:

Lei de Lenz

A corrente induzida em um circuito aparece sempre com um sentido tal que o campo magnético que ela cria tende a contrariar a variação do fluxo magnético que a originou.

Em outras palavras, a lei de Lenz nos diz que¹:

- 1º) Quando a corrente induzida é estabelecida em virtude de um aumento do fluxo magnético, o seu sentido é tal que o campo por ela criado tem sentido contrário ao campo magnético existente no interior do circuito.
- 2º) Quando a corrente induzida é estabelecida em virtude de uma diminuição do fluxo magnético, o seu sentido é tal que o campo por ela criado tem o mesmo sentido do campo magnético existente no interior do circuito.

Os exemplos seguintes ilustrarão como podemos empregar a lei de Lenz para determinar o sentido da corrente induzida em um circuito.

EXEMPLO 1

Usando a lei de Lenz, determine o sentido da corrente induzida para a situação mostrada na figura 8.22.

Estando a barra em movimento para a direita, há um aumento de fluxo magnético através do circuito CEFD, pois a área do circuito situada dentro do campo magnético está aumentando. Então, o campo criado pela corrente induzida (no interior do circuito) deve ter sentido contrário ao do campo magnético mostrado na figura 8.22, pois, assim, ele tende a diminuir o fluxo magnético através do circuito. Portanto, o campo magnético criado pela corrente induzida está saindo da folha de papel (no interior do circuito). Usando a regra de Ampère, verificamos que, para criar um campo magnético nesse sentido, a corrente induzida deve estar circulando no sentido CEFD. Observe que esse resultado está de acordo com o sentido da corrente mostrada na figura 8.22 e que foi obtido por outro processo (sem o uso da lei de Lenz).

1 Estamos supondo a normal à superfície orientada de tal modo que o fluxo magnético seja sempre positivo.

Figura 3.34: Apresentando a Lei de Lenz. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.204.)

3.3. ANÁLISE DO LIVRO: FÍSICA PARA CIENTISTAS E ENGENHEIROS

3.3.1. A função da sequência didática em que as Ilustrações aparecem

Todo o desenvolvimento científico e a produção de novos conhecimentos estão associados à produção de novas formas de representações, novos símbolos e expressões. Segundo Duval (2009), não é possível desenvolver as atividades intelectuais sem fazer uso de uma representação semiótica, ainda segundo Vigotski (2010) a palavra, que em essência é semiótica, é a substância fundamental do pensamento.

Portanto, em um livro de ensino superior, é de se esperar uma forma diferente de representações semióticas, pois aqui, é pressuposto que o estudante avançou no nível conhecimento e de abstrações necessárias no transcorrer de sua formação no ensino médio. Será apresentada nesse subcapítulo a distribuição das imagens utilizadas para apresentar os conceitos associados ao fenômeno da indução magnética no livro “Física para Cientistas e engenheiros”. A primeira categoria a ser analisada é a função da sequência didática em que as ilustrações aparecem.

Em sua maioria as ilustrações estão associadas à descrição dos fenômenos estudados, ou seja, 30% da sequência didática que fazem uso das ilustrações estão voltadas para a descrição de fenômenos. Os textos principais não trazem problematização, elas aparecem ao longo dos exercícios de exemplos e fixação. Ao se tratar de evocação, aplicação e interpretação, a distribuição das imagens é quase homogênea, e gira em torno de 17% cada categoria. O quadro 3.15 ilustra esta distribuição. A figura 3.35 o faz de forma gráfica.

Quadro 3.15: Função da sequência didática em que as imagens aparecem

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade de imagens |
|-----------------------|---|---|--|-----------------|-----------------------|
| 1 | A função da sequência didática em que aparecem as ilustrações | Para que as imagens são usadas, em que trechos de texto são colocados | 1.1 | evocação | 6 |
| | | | 1.2 | definição | 8 |
| | | | 1.3 | aplicação | 5 |
| | | | 1.4 | descrição | 11 |
| | | | 1.5 | interpretação | 6 |
| | | | 1.6 | problematização | 0 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

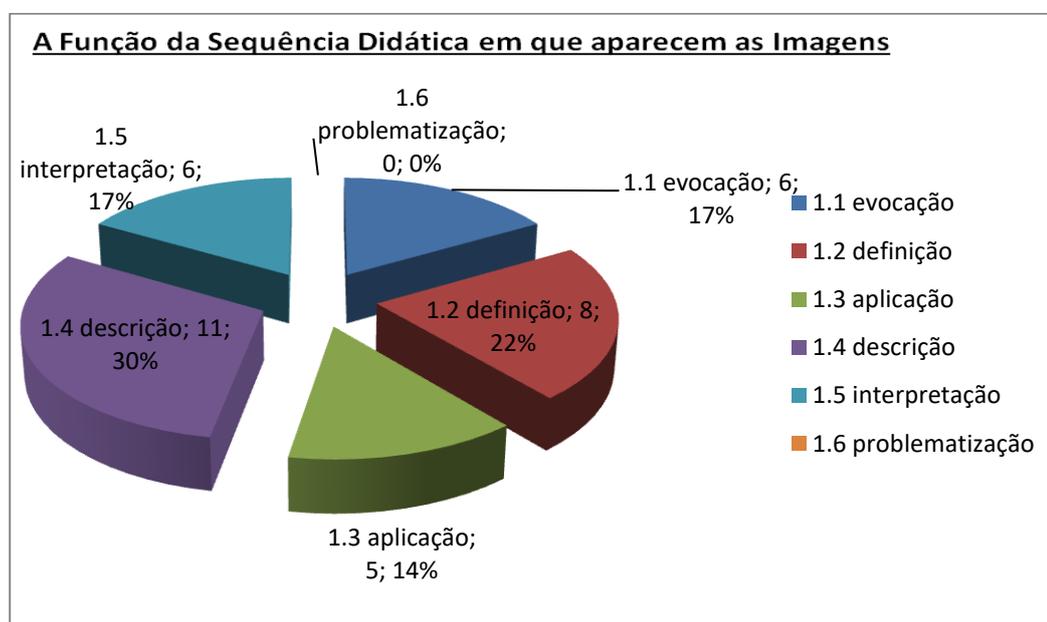


Figura 3.35: Distribuição gráfica da quantidade de ilustrações relacionadas a função da sequência didática em que as ilustrações aparecem.

A figura 3.36 apresenta a definição e a descrição do fluxo magnético, que é um conceito fundamental para a compreensão da lei de Faraday, que relaciona a força eletromotriz induzida em um circuito à taxa de variação do fluxo magnético do circuito. Apresenta o significado de um novo termo que está estabelecido em seu contexto teórico. Fica evidente a necessidade de conhecimentos prévios para que o estudante possa relacionar todos estes conceitos em um tecido conceitual coerente, a fim de tornar o uso destes conceitos conscientes e voluntários. A compreensão

deste conceito se formará quando estabelecidas as relações entre a compreensão do cálculo diferencial e integral, da noção de fluxo, do conhecimento dos vetores e do cálculo vetorial em um sistema conceitual de forma consciente e arbitrária. O conceito de iconicidade da semiótica peirciana aponta para este objeto como de alta complexidade, pois é uma notação afastada da forma real objeto real apresentado.

28-1 FLUXO MAGNÉTICO

O fluxo de qualquer vetor através de uma superfície é calculado da mesma maneira que o fluxo de um campo elétrico através de uma superfície (Seção 22-2). Seja dA um elemento de área na superfície S e seja \hat{n} um vetor unitário normal ao elemento de superfície de área dA (Figura 28-1). Se \hat{n} é normal a um elemento de superfície, então $-\hat{n}$ também o será, havendo dois sentidos normais a qualquer elemento de superfície e a escolha de um dos dois sentidos para \hat{n} é opcional. Entretanto, o sinal do fluxo depende da escolha do sentido de \hat{n} . O fluxo magnético ϕ_m através de S é

$$\phi_m = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} \, dA = \int_S B_n \, dA$$

28-1

FLUXO MAGNÉTICO

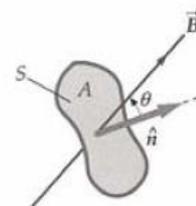


FIGURA 28-1 Quando \vec{B} faz um ângulo θ com a normal à superfície limitada pelo anel, o fluxo através do anel é $\vec{B} \cdot \hat{n}A = BA \cos \theta$, onde A é a área da superfície.

Figura 3.36: Definição e descrição do fluxo magnético. Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 262)

SUPERCONDUTORES

Um supercondutor tem resistividade igual a zero abaixo da temperatura crítica T_c , que varia de material para material. Na presença de um campo magnético \vec{B} , a temperatura crítica é menor que a temperatura crítica quando não há campo magnético. Quando o campo magnético aumenta, a temperatura crítica diminui. Se a intensidade do campo magnético é maior que algum valor crítico B_c , a supercondutividade não existe em nenhuma temperatura.

*EFEITO MEISSNER

Quando um supercondutor que está em uma região que contém um campo magnético é resfriado abaixo de sua temperatura crítica, o campo magnético na região do interior do material supercondutor torna-se zero (Figura 28-35). Este efeito foi descoberto por Walter Meissner e Robert Ochsen-

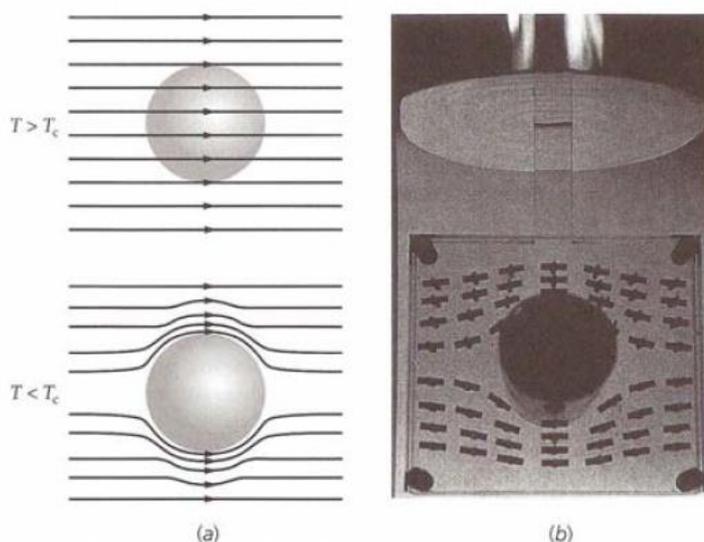


FIGURA 28-35 (a) O efeito Meissner em uma esfera sólida supercondutora resfriada em um campo magnético aplicado constante. Quando a temperatura cai abaixo da temperatura crítica T_c , o campo magnético no interior da esfera torna-se zero. (b) Demonstração do efeito Meissner. Um cilindro supercondutor de estanho está situado com seu eixo perpendicular a um campo magnético horizontal. As direções das linhas de campo são indicadas por agulhas de bússolas fracamente magnetizadas em um sanduíche de Lucite de forma que ela possa girar livremente. (A. Leitner/Rensselaer Polytechnic Institute.)

Figura 3.37: Supercondutores e efeito Meissner, para evocação de um tema de estudo.

(Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.285.)

A figura 3.37 faz referência a um fenômeno que se pressupõe já ser conhecido pelo estudante de Física. Este fenômeno não faz parte do cotidiano do aluno, porém suas implicações físicas o fazem presentes nas discussões teóricas que se desenvolvem no estudo da física. Aqui, a evocação deste fenômeno busca instigar o aluno para posteriormente propor soluções e interpretações à luz da teoria estudada.

A figura 3.38 traz o esquema de um gerador de corrente alternada como um exemplo que amplia ou consolida uma definição prévia, como é o caso da indução eletromagnética, portanto aparece associada à sequência didática como uma aplicação, nos termos das categorias estabelecidas.

A figura não é, no universo do estudante de Física, categorizada como complexa, o alto grau de iconicidade estimula nos estudantes a formulação de uma imagem mental que amplia a compreensão do conceito estudado. As imagens mentais, ou o argumento que se cria na interpretação dessa imagem por cada

estudante que toma contato com a imagem tendem a ter forma aproximada, graças ao grau de iconicidade, que age mediando a interpretação do fenômeno. Neste processo o papel do professor não pode ser ignorado, pois a ampliação do conhecimento e do vocabulário científico, de acordo com Lemke (1990), perpassa pelo ato de aprender a falar ciências, desdobrando na direta necessidade de um agente mediador.

Isto pode ser escrito como

$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_{\text{máx}} \text{sen } \omega t$$

onde

$$\mathcal{E}_{\text{máx}} = \omega NBA$$

é o valor máximo da fem. Podemos, então, produzir uma fem senoidal em uma bobina girando-a com frequência constante em um campo magnético. Nesta fonte de fem, a energia mecânica da bobina girando é convertida em energia elétrica. A energia mecânica geralmente provém de uma catarata ou de uma turbina a vapor. Apesar de geradores práticos serem consideravelmente mais complicados, eles trabalham no mesmo princípio que uma fem alternada é produzida em uma bobina girando em um campo magnético, e elas são projetadas para que a fem produzida seja senoidal.

FIGURA 28-23 Quando corrente alternada é fornecida à bobina da Figura 28-22, a bobina torna-se um motor. Enquanto a bobina gira, é gerada uma fem reversa, limitando a corrente.

Figura 3.38: Esquema de um gerador de corrente alternada.(Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.236.)*Física para Cientistas e Engenheiros* (2015, p. 275)

A figura 3.39 está associada à descrição das correntes parasitas. Aqui é pressuposto que o fenômeno não é conhecido pelo leitor, o que pode exigir uma aproximação metódica e mediada pelo professor. Não se trata de um fenômeno que é núcleo central na apresentação do fenômeno da indução magnética, porém é necessária para a completude do discurso principal e compreensão do assunto abordado. De acordo com a noção de iconicidade, nota-se que uma figura didaticamente bem desenvolvida torna-se necessária, pois se trata de uma figura que ilustra um conceito desconhecido pelo estudante, sendo um caso de acesso a um novo objeto de conhecimento.

Os novos conceitos associados a este novo objeto de conhecimento serão vinculados a um tecido conceitual já presente na mente de cada estudante, e o grau de aprendizagem ou conscientização está diretamente relacionado à correta organização deste sistema de conceitual já presente na mente do escolar. Este fato é capaz de justificar o importante papel da mediação neste processo de

aproximação e aprendizagem de um novo fenômeno, sendo fundamental a presença do professor, bem como a seleção criteriosa dos recursos didáticos, dos quais as imagens assumem um papel principal.

Nos exemplos que discutimos, as correntes foram induzidas em finos fios ou bastões. Entretanto, um fluxo variável muitas vezes induz a circulação de correntes, que são chamadas de *correntes parasitas*, em um pedaço de metal maciço como o núcleo de um transformador. O calor produzido por tais correntes constitui uma perda de potência no transformador. Considere uma lâmina condutora entre as faces dos pólos de um eletroímã (Figura 28-24). Se o campo magnético \vec{B} entre os pólos varia com o tempo (como seria o caso se a corrente nas bobinas fosse alternada), o fluxo através de qualquer anel fechado na lâmina, tal como através da curva C indicada na figura, irá variar. Conseqüentemente, haverá uma fem induzida em torno de C. Como o caminho C está em um condutor, a fem gerará uma corrente no condutor.

A existência de correntes parasitas pode ser demonstrada empurrando uma lâmina de cobre ou alumínio através da região entre os pólos de um forte ímã permanente (Figura 28-25). Parte da área limitada pela curva C na figura está no campo magnético e a outra parte está fora do campo magnético.

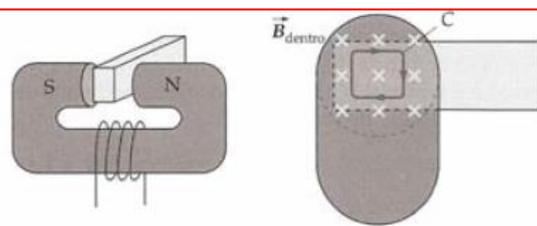


FIGURA 28-24 Correntes parasitas. Quando o campo magnético através da barra metálica está variando, uma fem é induzida em qualquer anel fechado no metal, tal como o anel C. As fem induzidas geram correntes chamadas de correntes parasitas.

Figura 3.39: Descrição das correntes parasitas. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.275.)

Como observado anteriormente, as interpretações presentes na sequência didática em que as imagens aparecem são passagens explicativas nas quais os conceitos teóricos são usados para descrever as relações entre eventos experimentais, a figura 3.40 é um exemplo de interpretação na qual se explica o fenômeno da levitação magnética. A compreensão da imagem agora se mostra vinculada à produção textual a ela associada. Neste aspecto toda produção discursiva torna-se fundamental, tanto as legendas, o próprio texto ou sequência didática que acompanha a imagem e fundamentalmente a imagem em si. A coerência de todo o conjunto semiótico será um fator importante na transcorrer da correta interpretação do fenômeno.



Figura 3.40: Levitação magnética. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 286)

3.3.2. Iconicidade

Essa é uma das mais importantes categorias de análise. A iconicidade é a categoria que amplia as possibilidades de interpretação e discussões em torno da questão fundamental dos fenômenos eletromagnéticos, ou seja, a necessidade de alta abstração que explica a sua complexidade. O acesso a este objeto de conhecimento se dá fundamentalmente pelo criterioso uso das imagens.

A iconicidade está associada ao grau de simbolização, ou seja, quanto mais próxima do real, maior é a iconicidade, o que leva a concluir que a iconicidade é inversamente proporcional ao grau de complexidade da imagem. Quanto mais uma imagem se distancia do real, mais complexa e menos icônica é a imagem. Aumentar a iconicidade significa reduzir a complexidade, ou facilitar a interpretação da imagem. Ainda, de acordo com Peirce (2003), todo ícone tem uma relação de razão com o seu objeto, ou seja, algum pressuposto lógico que justifique a sua forma de representação.

O quadro 3.16 traz a distribuição das imagens que ilustram a Indução Magnética na obra de Tipler e Mosca (2009).

Quadro 3.16: distribuição das imagens em função da iconicidade.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|-------------|---|--|---------------------------------|------------|
| 2 | Iconicidade | O grau de complexidade que têm imagens, e a aproximação com o objeto representado | 2.1 | fotografia | 3 |
| | | | 2.2 | desenho figurativo | 1 |
| | | | 2.3 | desenho esquemático | 1 |
| | | | 2.4 | desenho figurativo + sinais | 10 |
| | | | 2.5 | desenho esquemático + sinais | 7 |
| | | | 2.6 | sinais de descrição padronizada | 14 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

São essas características que tornam a iconicidade tão fundamental na compreensão das possibilidades didáticas que apresentam cada tipo de imagem, pois a complexidade do assunto abordado, bem como das próprias imagens é a principal barreira a ser superada pelo escolar no processo de aprendizagem dos conceitos científicos.

A distribuição das imagens presentes na obra de Tipler e Mosca (2012) em função da categoria iconicidade, pode melhor ser visualizada na figura 3.41.

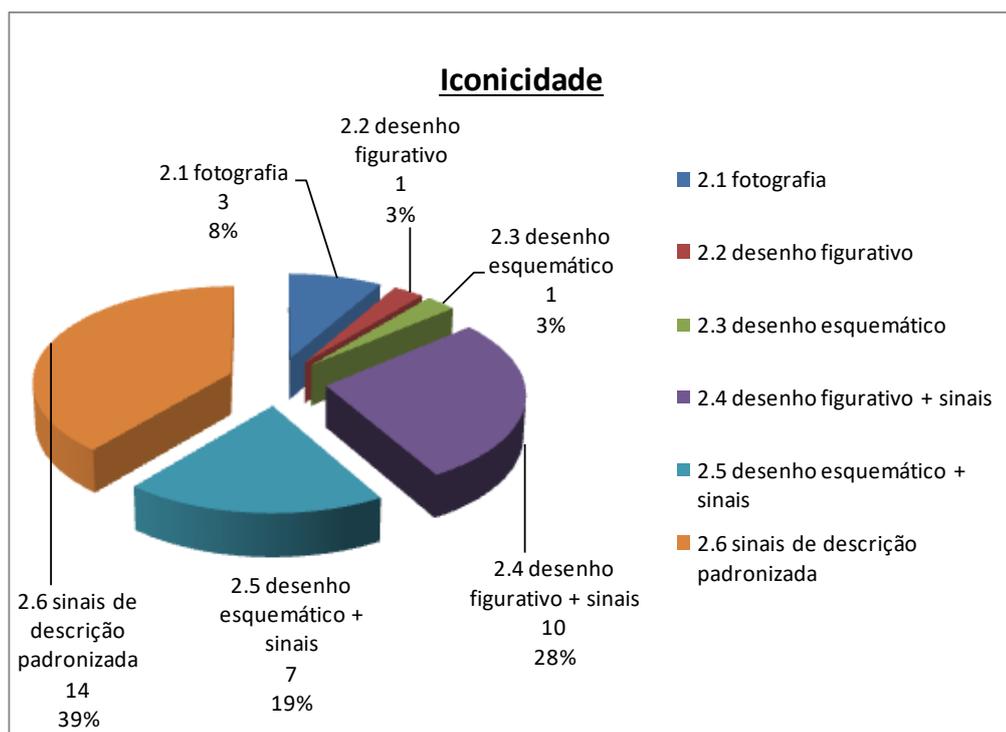


Figura 3.41. Distribuição das imagens em função da categoria iconicidade.

Fonte: o autor.

É possível observar claramente a predominância das figuras com sinais de descrição padronizada, ou seja, 39% das figuras analisadas na obra de Tipler e Mosca (2015) pertencem a esta subcategoria. Sinais de descrição padronizadas implicam em baixa iconicidade, ou seja, figuras mais complexas que exigem maior atividade intelectual e abstração pelo leitor, além de maiores necessidades de explicações pelo mediador, ou seja, pelo professor. Como é um livro de ensino superior, cabe pressupor que existe a intenção de se preparar o estudante para o contato com a linguagem científica e técnica mais sofisticada. A alta carga de simbolismo nas ciências naturais ou na própria matemática é característica marcante nestes campos de estudo, a comunicação entre os profissionais dessa área de estudo é constantemente permeada por alta carga de simbolismos.

A figura 3.42 traz um exemplo de fotografia que ilustra o fenômeno de indução magnética. Devido à aproximação com o objeto real representado pelas fotografias, há uma tendência em se acreditar que a imagem é transparente, que fala por si, que proporciona uma compreensão imediata, dispensando esforços cognitivos, ou que não é um produto constituído sócio-historicamente (REGO, 2011). Porém, nota-se na

figura 3.30 que a compreensão do objeto de conhecimento representado não é imediata e exige mediação, tanto por parte de um professor, como toda a sequência didática que acompanha a imagem, tais como textos e legendas, pois a figura em si ilustra muito mais o experimento que o próprio fenômeno estudado.

O campo magnético B_1 devido à corrente no solenóide interno é uniforme no interior do solenóide e tem intensidade

$$B_1 = \mu_0(N_1/\ell)I_1 = \mu_0n_1I_1 \quad r < r_1 \quad 28-17$$

e fora do solenóide interno, a intensidade do campo B_1 é essencialmente zero. O fluxo de \vec{B}_1 através do solenóide externo é, portanto,

$$\phi_{m2} = N_2B_1(\pi r_1^2) = n_2\ell B_1(\pi r_1^2) = \mu_0n_2n_1\ell(\pi r_1^2)I_1$$

Observe que a área usada para calcular o fluxo através do solenóide externo não é a área da superfície limitada por um anel daquele solenóide, μr_2^2 , mas é a área da

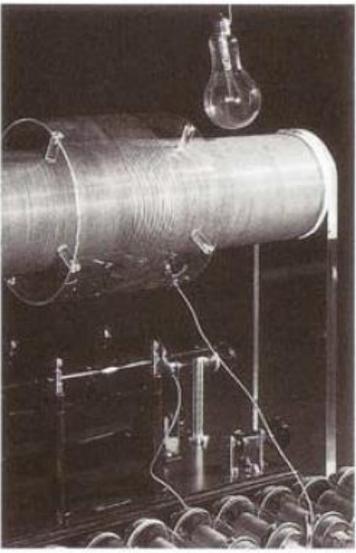


FIGURA 28-28 (a) Um solenóide longo e estreito dentro de um segundo solenóide de mesmo comprimento. Uma corrente em qualquer um dos solenóides produz um fluxo magnético no segundo. (b) Uma bobina tesla ilustrando a geometria dos fios na Figura 28-28a. Tal dispositivo funciona como um transformador.** Aqui, uma corrente alternada de baixa tensão na bobina externa é transformada em uma corrente alternada de alta tensão na bobina interna. A fem induzida na bobina interna pelo campo da corrente na bobina externa é alta o suficiente para acender a lâmpada acima das bobinas. ((b) © Michael Holford, Collection of the Science Museum, Londres.)

* Se o indutor tiver um núcleo de ferro, a resistência interna incluirá as propriedades do núcleo.
 ** O transformador é discutido no Capítulo 29.

Figura 3.42: Indução magnética Física para Cientistas e Engenheiros (2078, p. 268)

A figura 3.43 é um exemplo de desenho figurativo presente na obra de Tipler e Mosca (2015), é possível observar a aproximação com o objeto real representado, ou seja, um baixo grau de iconicidade em que a figura em si não é complexa. Nota-se que a figura representa muito mais o experimento que o fenômeno, assim como na fotografia anterior.

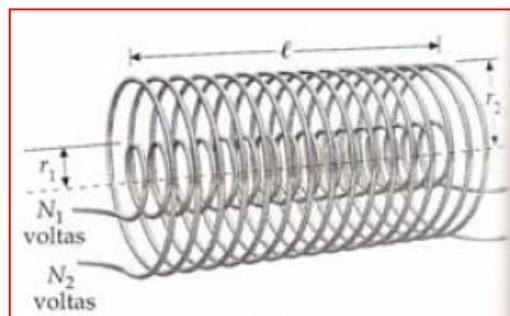


Figura 3.43: Indução magnética, desenho figurativo. Fonte:Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 278)

Um esquema elétrico é uma expressão máxima de um desenho esquemático. Conforme mostrado na figura 3.44, nota-se que essa representa um circuito elétrico, com interruptor aberto e uma fonte de corrente contínua que alimenta uma carga indutiva. Não se observa neste tipo de representações detalhes desnecessários à interpretação do fenômeno, tais como diâmetro dos cabos de ligação, diâmetro das espiras do indutor, comprimento dos cabos, distância dos componentes, tipo de interruptor, entre outros detalhes intencionalmente omitidos. Ocultar os detalhes desnecessários é a principal característica de um desenho esquemático.

Aqui, importa ao estudante compreender o fenômeno da indução magnética bem como os seus conceitos fazendo associações com conhecimentos e conceitos já tratados previamente, tais como circuitos elétricos, correntes elétricas e lei das malhas. Estes conceitos serão mais bem internalizados, ou compreendidos quando associados corretamente entre si, ou seja, obedecendo toda a hierarquia existente no sistema conceitual que compreende o estudo da eletricidade e do magnetismo, sistema conceitual que Vigotski (2010) expressa em um sistema de coordenadas geodésicas, já mostrada anteriormente. Lemke (1990) esclarece a importância de se aprender a “falar ciências”, num ato que está inevitavelmente associado ao domínio e aprendizado dos conceitos científicos.

Na obra de Tipler e Mosca (2015) este tipo de imagem representa 3% do total de imagens analisadas.

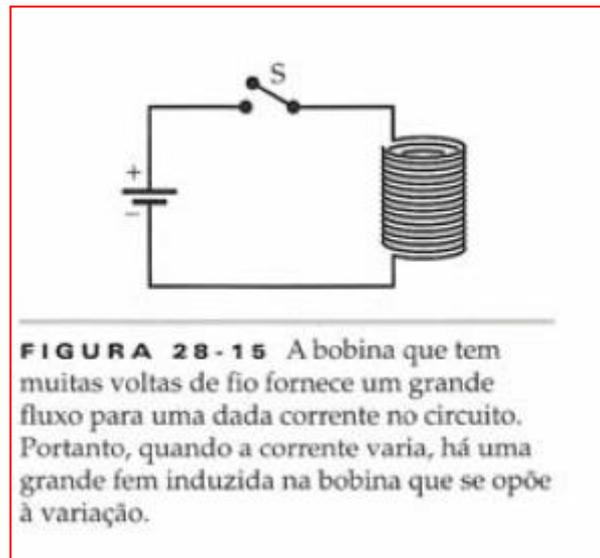


Figura 3.44: Indução magnética, desenho esquemático. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 269)

A figura 3.45 traz um exemplo da subcategoria “desenho figurativo mais sinais”, subordinada à categoria principal “Iconicidade”. A figura em si se aproxima de um diagrama, porém conserva características dos elementos que deram origem à ilustração. Tem como particular a característica de representar ações e magnitudes não observáveis em um componente real. Duas barras polarizadas indicadas como “N” (norte) e “S” (sul) indicam o estator de um gerador de corrente alternada, o símbolo conectado entre “a” e “b” representa a fonte de corrente alternada, que pode estar sendo aplicada ou tomada de um gerador. A letra “ ω ” (ômega, minúsculo do alfabeto grego) associado a seu vetor indica o sentido de rotação do eixo do gerador. Todos estes elementos simbólicos buscam vincular a compreensão e o raciocínio do estudante ao objeto de estudo fazendo uma aproximação que de outra forma seria mais dificultosa.

Cada símbolo presente, de acordo com a semiótica peirciana, expressa uma conexão ou uma relação de associação mental a um objeto de conhecimento ou conceito, por exemplo, os pontos tracejados indicam uma simetria entre os dois lados da figura, e é assim compreendido devido a uma convenção previamente estabelecida da relação entre o símbolo e o que ele significa.

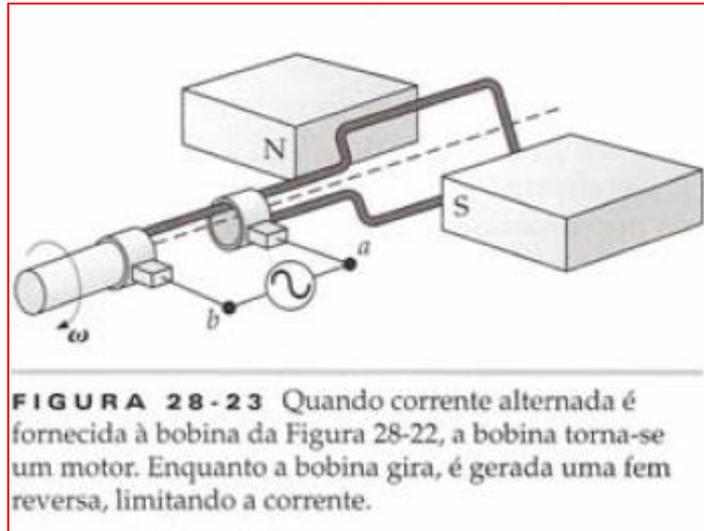


Figura 3.45: Indução magnética, desenho figurativo mais sinais. Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 275)

A figura 3.46 traz um exemplo de desenho esquemático mais sinais presente na obra de Tipler e Mosca (2015). São exemplos de três esquemas elétricos que buscam explicar o comportamento da corrente elétrica e corrente induzida em um circuito com um indutor. Os elementos que compõem a figura se resumem a símbolos, daí o caráter esquemático, e sua principal característica é a expressão e a ilustração de magnitudes não observáveis, tais como os sentidos das correntes elétricas.

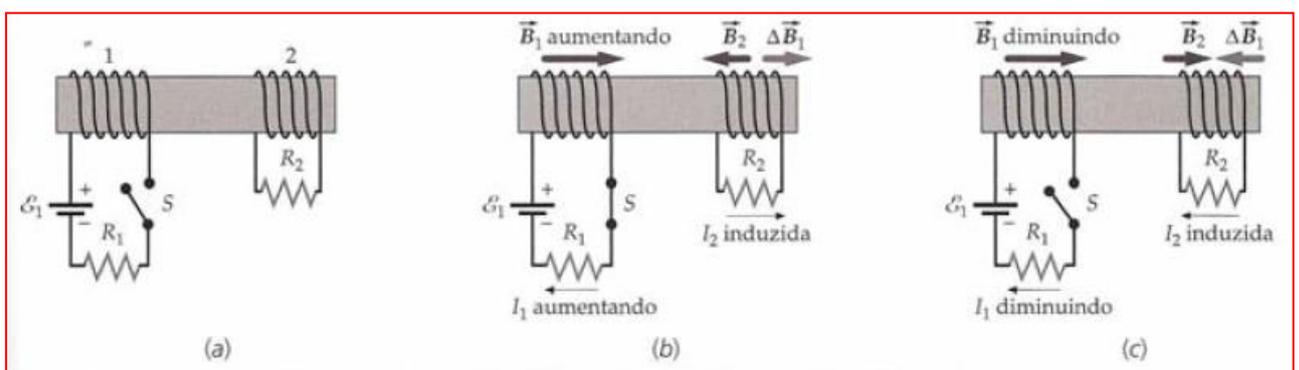


FIGURA 28-14 (a) Dois circuitos adjacentes. (b) Logo após a chave ser fechada, I_1 aumenta no sentido mostrado. O fluxo variando no circuito 2 induz a corrente I_2 . O fluxo no circuito 2 devido a I_2 se opõe à variação no fluxo devido a I_1 . (c) Quando a chave é aberta, I_1 diminui e o fluxo através do circuito 2 varia. A corrente induzida I_2 tende, então, a manter o fluxo através do circuito 2.

Figura 3.46: Indução magnética, desenho esquemático mais sinais. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 269)

Conforme mostrado na figura 3.41, 19% das figuras presentes na obra de Tipler e Mosca (2015) pertencem a essa subcategoria,, o que revela o caráter mais esquemático das figuras presentes nessa obra, quando comparada com a obra “Curso de Física” para o ensino médio. Este caráter esquemático, que pode ser expresso por uma baixa iconicidade, tende a tornar as figuras mais complexas e a exigir maior esforço de interpretação por parte dos estudantes. Aqui se torna novamente importante evidenciar o forte papel desempenhado pelas legendas, bem como os textos que compõem a sequência didática que completam a exposição do assunto.

Um exemplo de imagem com sinais de descrição padronizada pode ser conferido na figura 3.47. Todos os elementos da figura são símbolos adotados convencionalmente por uma comunidade específica, como físicos e engenheiros.

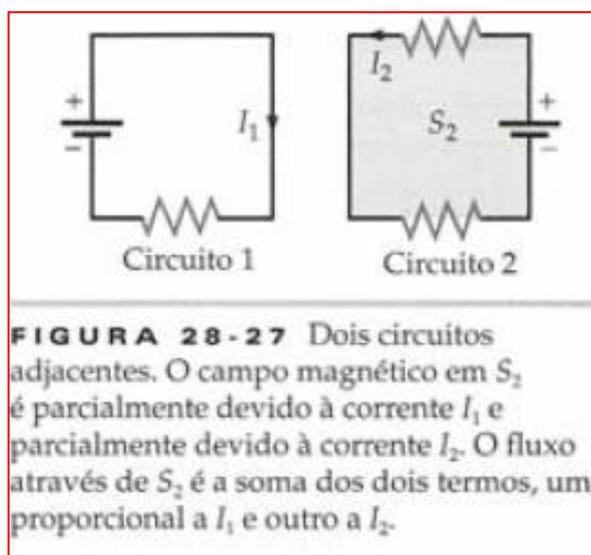


Figura 3.47: Indução magnética, imagem com sinais de descrição padronizada.
Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 278)

3.3.3. Funcionalidade

A funcionalidade de uma imagem está relacionada ao grau de interação que o estudante pode estabelecer com essa imagem, ou seja, observar, imaginar movimentos e relações de interação e interpretar elementos que estão vinculados a regras previamente estabelecidas. As subcategorias associadas à funcionalidade são apresentadas no quadro 3.17.

Quadro 3.17: Categoria funcionalidade e suas subcategorias.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|----------------|---------------------------------|--|------------------------|------------|
| 3 | Funcionalidade | o que se pode fazer com imagens | 3.1 | Inoperantes | 7 |
| | | | 3.2 | Operativas elementares | 15 |
| | | | 3.3 | Sintática | 15 |

Fonte: Adaptação de JAVIER PERALES e JIMÉNEZ (2002)

São características muito importantes a serem observadas nas imagens, pois estão diretamente relacionadas ao grau de complexidade das imagens, ou seja, as imagens que exigem maior grau de interação e interpretação dos estudantes apresentam um maior índice dos componentes simbólicos ou icônicos, que as fazem aumentar ou reduzir o grau de iconicidade dessas imagens.

A figura 3.48 ilustra de forma gráfica a distribuição das imagens de acordo com as subcategorias sintáticas, inoperantes e operativas elementares. Essas subcategorias auxiliam a interpretar e avaliar a “funcionalidade” das imagens presentes nas obras analisadas.

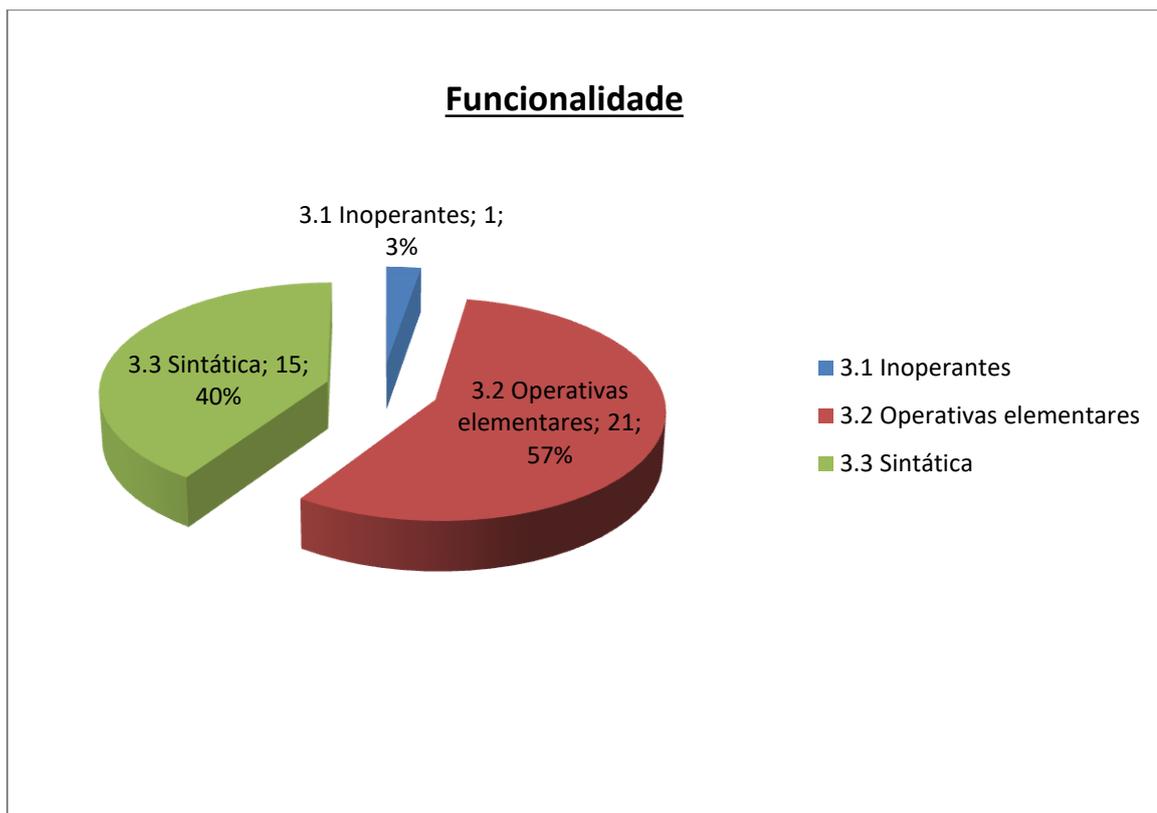


Figura 3.48: distribuição das imagens de acordo com a categoria “funcionalidade” na obra de Tipler e Mosca (2009)

As imagens sintáticas representam a sua maioria, ou seja, 40% do total das imagens analisadas na obra de Tipler e Mosca (2009) pertencem a esta subcategoria, ou seja, 15 imagens. São caracterizadas pelo expressivo conteúdo simbólico e baixo grau de iconicidade.

Da subcategoria “Operativas Elementares” é possível observar uma porcentagem de aproximadamente 57% do total, competindo em igualdade com as “sintáticas”. São caracterizadas pelo uso de sinais de descrições padronizadas e que requerem conhecimento de regras específicas, tais como vetores e circuitos elétricos.

As imagens menos utilizadas nesta categoria são as “inoperantes”, e representam 3% do total de figuras analisadas (uma imagem). Essas imagens são

caracterizadas por conterem apenas elementos observáveis, como a figura 3.28 ou tais como a maioria das fotografias.

As imagens da subcategoria “operativas elementares” representam a maioria das imagens analisadas. A figura 3.49 apresenta um exemplo de imagem que pertence a esta subcategoria.

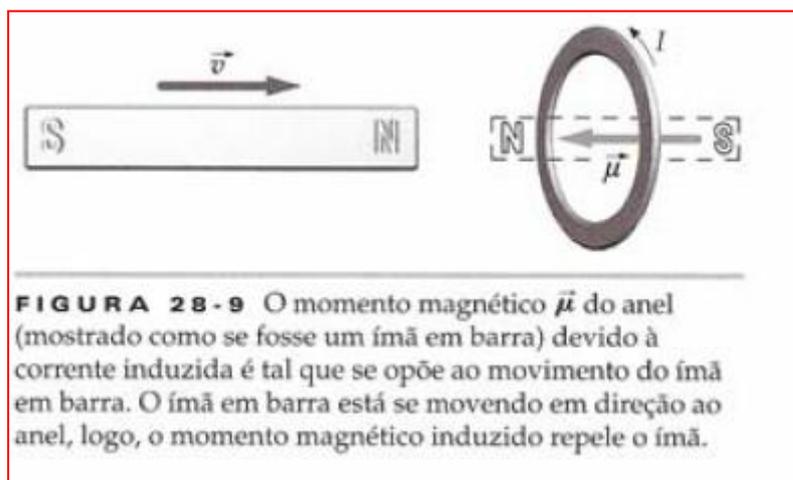


Figura 3.49: Indução magnética, funções operativas elementares. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 269)

Dos elementos de representações universais presentes na figura podem ser destacados o vetor velocidade que introduz na figura a percepção de movimento do ímã, o momento magnético, o vetor que indica o sentido e intensidade da corrente induzida, os polos do ímã norte e sul representados por “N” e “S” respectivamente, e a barra em desenho tracejado, que indica uma posição imaginária após a sua movimentação.

A figura 3.50 é um exemplo de imagem cuja funcionalidade é classificada como sintática, ou seja, contém elementos cujo uso requer o conhecimento de regras específicas, tais como vetores e circuitos elétricos. Na figura é possível observar alguns destes elementos tais como a indicação do sentido das linhas de campo em relação ao plano da figura sendo representado pelas marcações em forma de “x”, ou seja, campo magnético orientado para “dentro” da folha, o símbolo do resistor “R” e o

circuito elétrico em si. Todos estes elementos requerem o conhecimento das regras específicas que orientam a interpretação do desenho.

A carga simbólica, bem como os ícones presentes nas imagens sintáticas, revela sua complexidade, ou seja, o afastamento em relação ao fenômeno real representado o que implica em maiores esforços cognitivos para a compreensão do objeto de conhecimento associado à imagem.

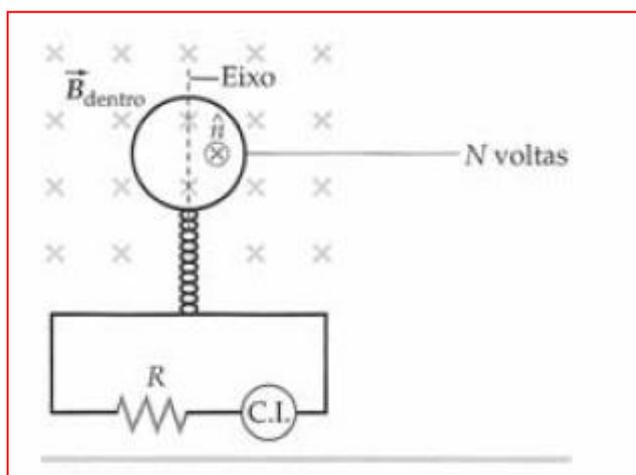


Figura 3.50: Indução magnética, imagem com funcionalidade sintática. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 271)

3.3.4. Relação com o texto Principal

As imagens e o texto principal que juntos compõem a sequência didática podem se relacionar de diferentes formas, tais como apresentadas no quadro 3.18.

Quadro 3.18: relação das imagens com o texto principal.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|-------------------------------|--|--|------------|------------|
| 4 | Relação com o texto principal | Referências mútuas entre texto e imagem ou ajudas para interpretação | 4.1 | conotativo | 0 |
| | | | 4.2 | denotativo | 35 |
| | | | 4.3 | sinótica | 1 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

Da categoria “Relação com e Texto Principal”, observam-se as subcategorias descritas como conotativo, denotativo e sinótica. Sua distribuição, de acordo com as imagens presentes na obra de Tipler e Mosca (2009), pode ser conferida na imagem 3.51.

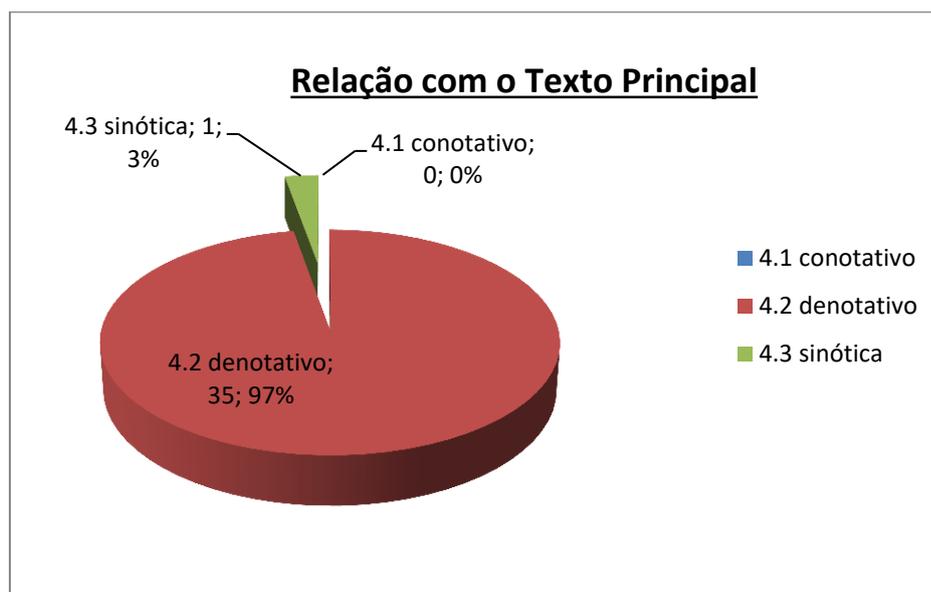


Figura 3.51: distribuição gráfica das imagens para a categoria “Relação com o texto Principal”. Fonte: o autor.

A subcategoria “denotativo” representa um total de 97% das figuras analisadas (35 imagens) totalizando a sua maioria. Para esta subcategoria o texto estabelece correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados.

Conforme se observa no gráfico apresentado, apenas 3% das figuras analisadas pertencem à subcategoria sinótica, ou seja, o texto descreve a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados, e também estabelece as condições nas quais as relações entre os elementos incluídos na ilustração representam as relações entre os conteúdos, de modo que a imagem e o texto formem uma unidade indivisível. Não há ocorrências de imagens categorizadas como “conotativo”.

A figura 3.52 traz um exemplo de imagem com uma legenda apresentando um texto denotativo. O texto principal se refere à imagem no transcurso da sequência didática, referindo-se à imagem pelo termo “Figura 28-8”.

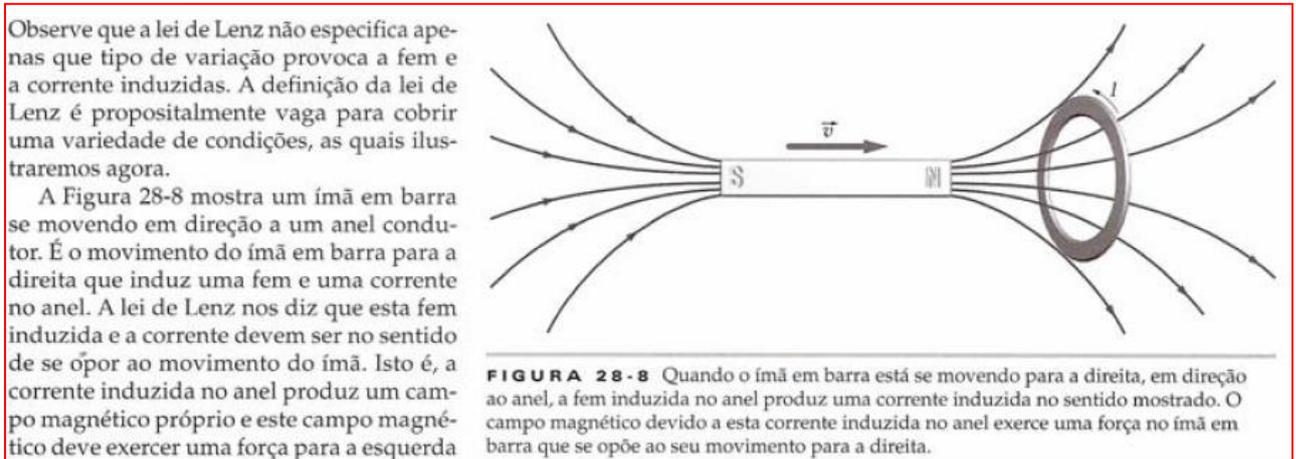


Figura 3.52: Lei de Lenz, imagem com legenda apresentando um texto denotativo. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 267)

A figura 3.53 traz um exemplo de imagem que se enquadra na subcategoria de legendas “sinótica”. Não há referência à imagem no transcurso do texto principal que faz a introdução do conteúdo.



Figura 3.53: Indução Magnética, imagem sinótica. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 261)

3.3.5. Legendas

De acordo com Lemke (1990) as palavras, quando combinadas com as imagens assumem novos sentidos e significados. Aqui se reside a importância das legendas, pois é por intermédio dessas que o texto ganha um sentido comum entre os estudantes e professores. O significado do conjunto legenda mais imagens é muito mais amplo que o fornecido pela análise das partes separadas. Ao contrário do que diz o senso comum, por mais nítida e realista que seja uma imagem, essa imagem não fala por si, é necessário uma atividade cognitiva no sentido de interpretá-la e a presença das legendas é o fator fundamental para a correta interpretação das imagens. O quadro 3.19 traz a categoria “legendas” e suas subcategorias que auxiliam na classificação das imagens encontradas, tais como sem legendas, nominativas e relacionais.

Quadro 3.19: legendas e suas subcategorias.

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|----------|----------------------------------|--|--------------|------------|
| 5 | Legendas | Textos incluídos nas ilustrações | 5.1 | sem legendas | 0 |
| | | | 5.2 | nominativas | 3 |
| | | | 5.3 | relacional | 33 |

Fonte: Adaptação de Perales e Jiménez (2002)

Considerando seu fundamental papel na compreensão dos textos e construção de sentidos e significados, a análise das legendas não pode ser deixada à margem. A figura 3.54 traz a distribuição e quantificação das subcategorias associadas às legendas na obra de Tipler e Mosca (2009). 92% das legendas analisadas são do tipo relacional, os outros 8% são do tipo nominativas. Não há registros de imagens sem legendas.



Figura 3.54: Distribuição das legendas e suas subcategorias.

Legendas nominativas são letras ou palavras que indicam alguns elementos das ilustrações, ou seja, estão presentes nas imagens e sobrepostas a ela. Na figura 3.55 é possível observar a ocorrência de legendas nominativas as quais indicam o fluxo magnético aumentando ou diminuindo, bem como o sentido e a ocorrência da corrente induzida.

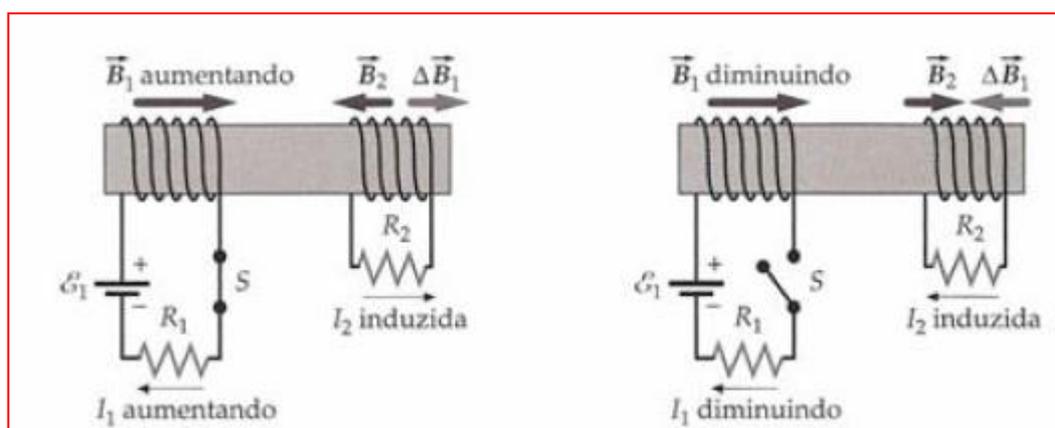


Figura 3.55: Indução Magnética, legendas nominativas. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 269)

Em uma única imagem pode ocorrer a presença de legendas nominativas e relacionais simultaneamente, ou seja, letras ou palavras que identificam os elementos das imagens mais textos ou palavras que indicam a correspondência entre os elementos da imagem.

Os textos que descrevem as relações entre os elementos da ilustração são as legendas relacionais. A figura 3.56 traz um exemplo de legenda relacional. O texto abaixo da figura descreve a relação entre um bastão condutor, um campo magnético, a área de superfície e a corrente elétrica induzida devido à indução magnética. A alta carga simbólica e icônica presente na imagem reflete sua complexidade e a importância das legendas. As legendas auxiliam na interpretação das figuras ou esquemas na medida em que o estudante avança na aquisição da linguagem científica.



Figura 3.56: Indução Magnética, legendas relacionais. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 273)

3.3.6. Cores

As ilustrações dos livros didáticos assumem as mais variadas intenções, desde despertar o interesse ou chamar a atenção do leitor para um ponto específico da sequência didática até esclarecer ou auxiliar na compreensão de um fenômeno. Nesse aspecto as cores assumem diferentes graus de importância. Para chamar à atenção do leitor as cores são fundamentais, assim como são em gráficos, porém em ilustrações voltadas para diagramas ou altamente simbólicas, com alto grau de iconicidade, as cores já não são elementos fundamentais da ilustração.

Para critério de análise, as cores foram divididas entre coloridas ou monocromáticas (branco mais escala de cinza). O quadro 3.20, juntamente com a figura 3.57 ilustra essa distribuição na obra de Tipler e Mosca (2009).

Quadro 3.20: distribuição das imagens em relação às cores

| Categorias de análise | | Descrição | Categorias em função das categorias de análise | | Quantidade |
|-----------------------|-------|-------------------|--|---------------|------------|
| 6 | Cores | Cores das imagens | 6.1 | colorida | 0 |
| | | | 6.2 | monocromática | 36 |

Fonte: o autor

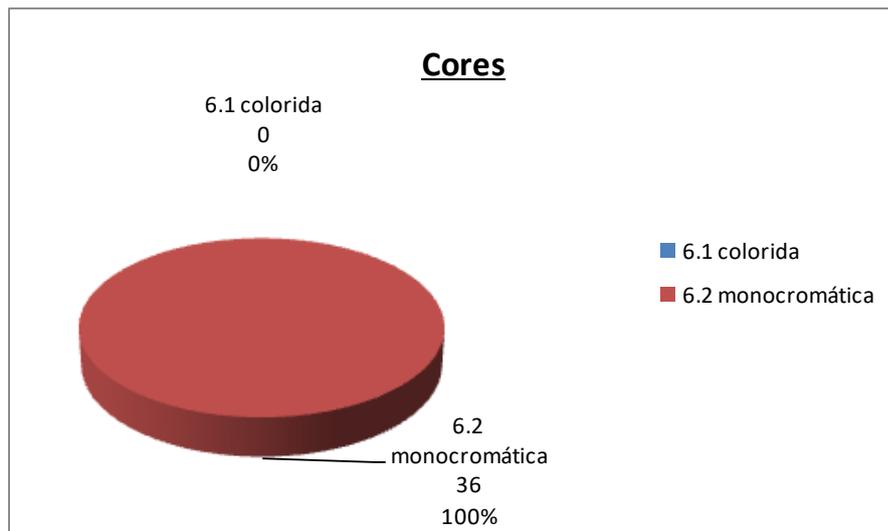


Figura 3.57: distribuição da categoria cores

3.3.7. O Conteúdo Científico que a Imagem Sustenta

O quadro 3.21 apresentado abaixo traz a síntese de como as imagens, os conceitos e o conteúdo científico estão distribuídos no capítulo sobre indução magnética na obra Física para Cientistas e Engenheiros. Assim como no quadro anterior, a primeira coluna, intitulada “conceito científico” trata do conceito analisado. A segunda coluna, intitulada “conteúdo científico” trata dos conteúdos científicos julgados fundamentais para a compreensão do conceito, a terceira coluna apresenta a quantidade de imagens associadas ao conteúdo científico em questão.

Para ilustrar a lei de Faraday foram observadas três imagens. Duas imagens estão relacionadas à variação do ângulo das espiras, geralmente associadas à descrição de aplicações práticas e uma imagem relacionada à variação do fluxo magnético, normalmente associada à movimentação de ímãs próximos a uma espirra de material condutor de eletricidade.

Quadro 3.21: quantidade de imagens e conceitos relacionados na obra Física para Cientistas e Engenheiros.

| conceito científico | conteúdo científico | quantidade de imagens (Física para Cientistas e Engenheiros) |
|----------------------------|---------------------------------------|--|
| lei de Faraday | variação do fluxo magnético (B) | 1 |
| | variação da área (A) | 0 |
| | variação do ângulo (θ) | 2 |
| campo elétrico e magnético | linhas infinitas | 0 |
| | Fluxo magnético | 3 |
| | inexistência de monopolos magnéticos | 0 |
| | origem e fim das linhas de campo | 0 |
| corrente induzida | Corrente Contínua/ Corrente Alternada | 0 |
| | natureza das correntes elétricas | 0 |
| lei de Lenz | conservação da energia | 0 |
| | sentidos da corrente | 3 |

Fonte: o autor

Para o conceito de campo elétrico e magnético, observam-se cinco registros associados à origem e fim das linhas de campo. Esta característica fica subentendida nas representações, mas não estão explícitas no transcorrer da sequência didática. Não há registros associados à infinitude das linhas de campo e quanto à impossibilidade de existência dos monopolos magnéticos.

A corrente induzida é tratada como um conceito sem maiores fundamentos de conteúdo científico, não há registros que associam este conceito à natureza da corrente elétrica, nem mesmo das formas de movimento dessa corrente.

A lei de Lenz não está vinculada ao princípio fundamental da conservação da energia ao longo da sequência didática. Todas as figuras, três no total, estão voltadas a ilustrar e descrever o sentido da corrente induzida sob o aspecto da lei de

Lenz, ou seja, ilustram o sentido da corrente elétrica em função do sentido do movimento relativo entre o condutor de eletricidade e o fluxo magnético.

A figura 3.58 apresenta a sequência didática que traz o conceito de fluxo magnético na obra de Tipler e Mosca (2015). Aqui, está evidente o caráter complexo da exposição do conceito, ou seja, nas figuras apresentadas tem-se uma alta carga simbólica e baixo grau de iconicidade. A ênfase nas expressões matemáticas que descrevem o fenômeno revela seu caráter complexo.

As expressões matemáticas se fundamentam no instrumental do cálculo, ou seja, nos métodos de derivação e integração, e, neste aspecto examinar a correspondência semântica entre os enunciados na forma textual e sua formulação matemática revela o grau de dificuldade em se fazer a conversão entre uma forma de registro e outra.

28-1 FLUXO MAGNÉTICO

O fluxo de qualquer vetor através de uma superfície é calculado da mesma maneira que o fluxo de um campo elétrico através de uma superfície (Seção 22-2). Seja dA um elemento de área na superfície S e seja \hat{n} um vetor unitário normal ao elemento de superfície de área dA (Figura 28-1). Se \hat{n} é normal a um elemento de superfície, então $-\hat{n}$ também o será, havendo dois sentidos normais a qualquer elemento de superfície e a escolha de um dos dois sentidos para \hat{n} é opcional. Entretanto, o sinal do fluxo depende da escolha do sentido de \hat{n} . O fluxo magnético ϕ_m através de S é

$$\phi_m = \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} \, dA = \int_S B_n \, dA \quad 28-1$$

FLUXO MAGNÉTICO

A unidade de fluxo magnético é a de intensidade de campo magnético multiplicada pela área, ou seja, o tesla-metro quadrado, que é chamado de weber (Wb):

$$1 \text{ Wb} = 1 \text{ T} \cdot \text{m}^2 \quad 28-2$$

Como B é proporcional ao número de linhas de campo por unidade de área, o fluxo magnético é proporcional ao número de linhas de campo através de um elemento de área.

PROBLEMA PRÁTICO 28-1

Mostre que um weber por segundo é um volt.

Se a superfície é plana e tem uma área A , e se \vec{B} é uniforme (tem a mesma magnitude e direção) em toda a superfície, o fluxo magnético através da superfície é

$$\phi_m = \vec{B} \cdot \hat{n} A = BA \cos \theta = B_n A \quad 28-3$$

onde θ é o ângulo entre a direção de \vec{B} e a direção de \hat{n} . Consideraremos o sentido de \hat{n} como sendo o da normal positiva. Frequentemente estamos interessados no fluxo através de uma superfície limitada por uma bobina que tem várias voltas de fio. Se a bobina tem N voltas, o fluxo através da superfície é N multiplicado pelo fluxo através de cada volta (Figura 28-2). Isto é,

$$\phi_m = NBA \cos \theta \quad 28-4$$

onde A é a área da superfície plana limitada por cada volta. (*Nota:* Apenas uma curva fechada pode, de fato, limitar uma superfície. Uma única volta de uma bobina com múltiplas voltas não é fechada e, portanto, uma única volta não pode ser, na verdade, uma superfície fechada. Entretanto, se a bobina está firmemente enrolada, uma volta é praticamente fechada e A é a área da superfície plana que está praticamente limitada.)

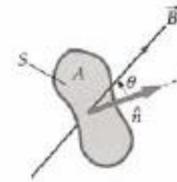
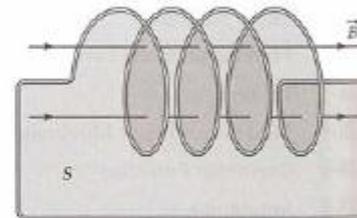
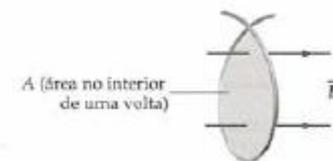


FIGURA 28-1 Quando \vec{B} faz um ângulo θ com a normal à superfície limitada pelo anel, o fluxo através do anel é $\vec{B} \cdot \hat{n} A = BA \cos \theta$, onde A é a área da superfície.



(a)



(b)

FIGURA 28-2 (a) O fluxo através da superfície S limitada por uma bobina que tem N voltas é proporcional ao número de linhas de campo que penetram na superfície. Esta bobina tem 4 voltas. Para as duas linhas de campo mostradas, cada linha penetra a superfície S quatro vezes, uma para cada volta, e o fluxo através de S é quatro vezes maior que o fluxo através da superfície "limitada" por uma única volta da bobina. A bobina mostrada não está enrolada firmemente, facilitando a visualização da superfície S . (b) A área A é a

Figura 3.58: Conceito de Fluxo magnético. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 262)

Na figura 3.59 observa-se a exposição da Lei de Faraday juntamente com o conceito de Força Eletromotriz Induzida e lei de Lenz na sequência didática que compõe a obra de Tipler e Mosca (2015). Após uma explicação de forma textual do fenômeno, recorre-se ao uso do cálculo como expressão matemática. Não há evidências de correspondência semântica entre uma forma e outra, cabendo ao aluno criar suas próprias formas de conexão entre um registro e outro.

Não há ilustrações em forma de fotografias, figuras ou esquemas que representam o fenômeno.

28-2 FEM INDUZIDA E A LEI DE FARADAY

Experimentos de Faraday, Henry e outros mostraram que, se o fluxo magnético através de uma superfície limitada por um fio (um caminho condutor) varia, uma fem igual em magnitude à taxa de variação do fluxo é induzida no fio. Geralmente detectamos a fem observando uma corrente no condutor, mas a fem nos limites da superfície existe mesmo se não existir o caminho condutor ou se ele for incompleto (não fechado) e não existir corrente. Nos capítulos anteriores, consideramos fems que estavam localizadas em uma parte específica de um circuito, tais como entre os terminais de uma bateria. Entretanto, fems induzidas podem estar distribuídas pelo circuito.

O fluxo magnético ϕ_m através de uma superfície plana de área A em um campo magnético uniforme \vec{B} é dado por $\phi_m = BA \cos \theta$ (Equação 28-3), onde θ é o ângulo entre \vec{B} e a normal à superfície. O fluxo pode ser variado aumentando ou diminuindo B , aumentando ou diminuindo A ou variando o ângulo θ . Se o campo magnético é devido a um ímã permanente, a magnitude do campo magnético pode ser aumentada ou diminuída aproximando ou afastando o ímã da superfície. Se o campo magnético é devido a uma corrente em um circuito, a magnitude do campo magnético pode ser aumentada ou diminuída variando a corrente. O fluxo através da superfície também pode variar através de alterações no ângulo θ . Para variar θ , podemos ou variar a orientação da superfície ou a direção do campo magnético. Em cada caso, se ao longo do perímetro da superfície houver um caminho condutor, tal como um fio metálico, uma fem \mathcal{E} será induzida ao longo do caminho que será igual em magnitude à taxa de variação do fluxo magnético através da superfície. Isto é,

$$\mathcal{E} = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad 28-5$$

LEI DE FARADAY

Este resultado é conhecido como a lei de Faraday. O sinal de menos na lei de Faraday

Figura 3.59: Conceito de Força eletromotriz Induzida e Lei de Faraday. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 263)

Nas figuras 3.60 e 3.61 observa-se a sequência didática que expõe a Lei de Lenz na obra de Tipler e Mosca (2015). A imagem que representa o fenômeno obedece a um padrão nos livros analisados, diferenciando apenas em tamanho e cor, porém a definição e descrição do fenômeno avançam expressivamente em complexidade e profundidade quando tomadas em sua forma matemática, pois é utilizado um instrumental do cálculo diferencial e integral, exigindo do estudante o domínio destes conceitos para a superação de uma compreensão parcial do fenômeno.

Observando a enunciação da força eletromotriz induzida em seu aspecto matemático, em forma de equação, é possível afirmar baseado na noção de iconicidade que na linguagem matemática a carga semântica é máxima, ou seja, já não se opera em nível de ícones, mas sim de símbolos. Os símbolos, diferente dos ícones estabelecem entre o objeto de estudo e o pensamento uma relação puramente convencional estabelecida historicamente, e cada símbolo representa um conceito em si. Uma equação se revela como um sistema conceitual coerente que será mais bem compreendido se antes for ilustrado com imagens e comentado na sua forma textual com as devidas mediações.

day está relacionado com o sentido da fem induzida (horário ou anti-horário), o qual será discutido mais tarde nesta seção.

A Figura 28-3 mostra um único anel de fio em repouso em um campo magnético. O fluxo através do anel está variando porque a intensidade do campo magnético na superfície S está aumentando e, portanto, uma fem é induzida no anel. Como a fem é o trabalho realizado por unidade de carga, sabemos que deve haver forças exercidas nas cargas em movimento que estão realizando trabalho nestas cargas. Forças magnéticas não podem realizar trabalho; portanto, não podemos atribuir a fem ao trabalho realizado por forças magnéticas. São as forças elétricas associadas ao campo elétrico não-conservativo \vec{E}_{nc} que realizam trabalho nas cargas em movimento. A integral de linha do campo elétrico ao longo de um circuito completo é igual ao trabalho realizado por unidade de carga, o qual é igual à fem induzida no circuito.

Os campos elétricos que estudamos em capítulos anteriores resultavam de cargas elétricas estáticas. Tais campos elétricos são conservativos, o que significa que a integral de linha ao longo de qualquer caminho fechado C é zero. (A integral de linha de um campo vetorial \vec{E} ao longo de uma trajetória fechada C é definida como $\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{\ell}$.) Entretanto, o campo elétrico associado ao campo magnético variável é não-conservativo. A integral de linha correspondente ao longo de C é igual à fem induzida no anel de fio. A integral de linha do campo elétrico é igual ao negativo da taxa de variação do fluxo magnético através de qualquer superfície fechada S limitada por C :

$$\mathcal{E} = \oint_C \vec{E}_{nc} \cdot d\vec{\ell} = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \hat{n} dA = -\frac{d\phi_m}{dt} \quad 28-6$$

FEM INDUZIDA PARA UM CIRCUITO EM REPOUSO EM UM CAMPO MAGNÉTICO VARIÁVEL

FIGURA 28-3 Se o fluxo magnético através de um fio em repouso, no formato de um anel, está variando, uma fem é induzida no anel. A fem está distribuída em todo o anel, a qual é devida ao campo elétrico não-conservativo \vec{E}_{nc} tangencial ao fio. A trajetória fechada C está no interior do material do anel condutor.

Figura 3.60: Conceito de Força eletromotriz Induzida e Lei de Faraday. Fonte:Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 264)

Aqui, a Lei de Lenz é apresentada de forma integrada ao fenômeno da Força Eletromotriz Induzida, de maneira que os conceitos estejam vinculados entre si, ou seja, o sinal de menos na equação que descreve a força eletromotriz induzida

representa o sentido contrário da corrente induzida, que é uma característica intrínseca e fundamental do fenômeno.

28-3 LEI DE LENZ

O sinal de menos na lei de Faraday está relacionado ao sentido da fem induzida. Isto pode ser obtido aplicando a convenção de sinal descrita na seção anterior, ou aplicando um princípio geral da física conhecido como **lei de Lenz**:

A fem induzida tem sentido tal que se opõe, ou tende a se opor, à variação que a produz.

LEI DE LENZ

Observe que a lei de Lenz não especifica apenas que tipo de variação provoca a fem e a corrente induzidas. A definição da lei de Lenz é propositalmente vaga para cobrir uma variedade de condições, as quais ilustraremos agora.

A Figura 28-8 mostra um ímã em barra se movendo em direção a um anel condutor. É o movimento do ímã em barra para a direita que induz uma fem e uma corrente no anel. A lei de Lenz nos diz que esta fem induzida e a corrente devem ser no sentido de se opor ao movimento do ímã. Isto é, a corrente induzida no anel produz um campo magnético próprio e este campo magnético deve exercer uma força para a esquerda sobre o ímã que se aproxima. A Figura 28-9

mostra o momento magnético do anel de corrente quando o ímã está se aproximando dele. O anel age como um pequeno ímã com seu pólo norte à esquerda e seu pólo sul à direita. Como pólos iguais se repelem, o momento magnético induzido no anel repele o ímã; isto é, ele se opõe ao movimento em direção ao anel. Este resultado significa que o sentido da corrente induzida no anel deve ser o mostrado na Figura 28-9.

Considere que a corrente induzida no anel mostrada na Figura 28-9 estivesse no sentido oposto ao mostrado. Haveria, então, uma força magnética para a direita no ímã que se aproxima, fazendo com que ele aumentasse sua rapidez. Este ganho em rapidez causaria um aumento na corrente induzida que, por sua vez, aumentaria a força no ímã, e assim sucessivamente. Este resultado é muito bom para ser verdade. Sempre que aproximássemos um ímã de um anel condutor, ele se moveria com uma rapidez crescente e sem nenhum esforço significativo de sua parte. Se esta situação ocorresse, haveria uma violação da conservação de energia. A realidade, entretanto, é que a energia é conservada e a lei de Lenz é consistente com esta realidade.

Uma definição alternativa para a lei de Lenz em termos do fluxo magnético é usada com freqüência. Esta definição é

Quando um fluxo magnético através de uma superfície varia, o campo magnético devido a qualquer corrente induzida produz um fluxo próprio — através da mesma superfície e de sinal oposto à variação inicial do fluxo.

DEFINIÇÃO ALTERNATIVA DA LEI DE LENZ

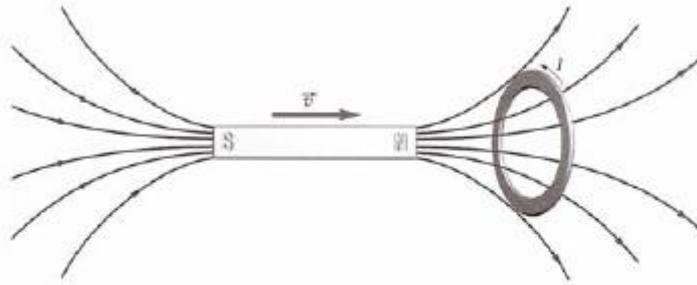


FIGURA 28-8 Quando o ímã em barra está se movendo para a direita, em direção ao anel, a fem induzida no anel produz uma corrente induzida no sentido mostrado. O campo magnético devido a esta corrente induzida no anel exerce uma força no ímã em barra que se opõe ao seu movimento para a direita.



FIGURA 28-9 O momento magnético $\vec{\mu}$ do anel (mostrado como se fosse um ímã em barra) devido à corrente induzida é tal que se opõe ao movimento do ímã em barra. O ímã em barra está se movendo em direção ao anel, logo, o momento magnético induzido repele o ímã.

Figura 3.61: Lei de Lenz. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 267)

DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

I. SOBRE OS CONCEITOS CIENTÍFICOS

Notadamente as estratégias de leitura de um livro para outro se tornam complexas. No ensino médio as imagens são ilustrações mais realistas e híbridas (parte realista, parte convencional tais como os desenhos figurativos) e no ensino superior são mais abstratas e esquemáticas, conforme apontado nos gráficos das figuras 3.12 e 3.29. Quanto mais esquemáticas, mais envolvem conhecimentos prévios, experiências de leituras anteriores e de estratégias de leitura que integram as informações verbais que contextualizam as imagens no espaço gráfico da página. Já no quadro 3.1, observa-se que a frequência de ocorrência das imagens é diferente, de uma obra para outra. Há mais imagens no livro de ensino médio em relação ao livro do ensino superior e parecem assumir diferentes papéis. Algumas imagens, como as fotografias, em sua maioria das vezes não ilustram o fenômeno estudado em si, mas assumem o papel meramente ilustrativo, como por exemplo, no caso da figura 4.2 apresentada na discussão sobre os conceitos científicos da obra “Curso Fe Física”. Como em toda a revisão da literatura não há evidências de um consenso entre os editores, autores e produtores de materiais didáticos em relação ao uso das imagens, a justificativa para o uso dessas imagens aproxima-se do campo da especulação. Observam-se também diferentes elementos composicionais, tais como cor e escala. Segue uma exposição dos resultados obtidos nas duas obras analisadas: Curso de Física e Física para Cientistas e Engenheiros.

a) Curso de Física

Toda a obra, conforme já sintetizado no quadro 3.1, apresenta uma boa riqueza de imagens, nas mais diversas categorias: fotografias, esquemas, sinais de descrição padronizada etc. No entanto, nem todas cumprem o papel de auxiliar os alunos no entendimento do fenômeno, ou transpor essa compreensão para situações do cotidiano. Em geral, as esquemáticas envolvem um aumento da

especialização do conteúdo e um maior número de convenções que dificultam sobremaneira o entendimento, o que não invalida o seu uso, porém uma estratégia de gradação, ou seja, o aumento gradativo da complexidade das imagens pode ser uma forma de apresentação do conteúdo pedagogicamente mais conveniente. Os dados levam-nos a crer que os alunos têm dificuldades em entender as imagens, pois, segundo Zimmermann e Evangelista (2006, p.1) os discentes tendem a fazer uma “descrição dos elementos reais da imagem, não se atendo a esquemas, setas, símbolos etc.”

As imagens 4.1 e 4.2 extraídas da obra *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2012) trazem a ilustração de um gerador de corrente alternada, uma aplicação direta do conceito de corrente induzida. A primeira é uma imagem figurativa com sinais de descrição padronizada. São padronizados os vetores, o eixo de simetria e rotação (linha pontilhada e a seta curva), o símbolo do amperímetro (círculo com a letra A), os demais elementos composicionais são figurativos. A sequência didática da qual essa imagem faz parte, juntamente com a legenda pode ser suficiente para que o aluno compreenda os conceitos abordados. Porém, ao se elevar o grau de iconicidade dessa representação na segunda imagem (4.2), o estudante perde o vínculo com os elementos composicionais da primeira figura (4.1).

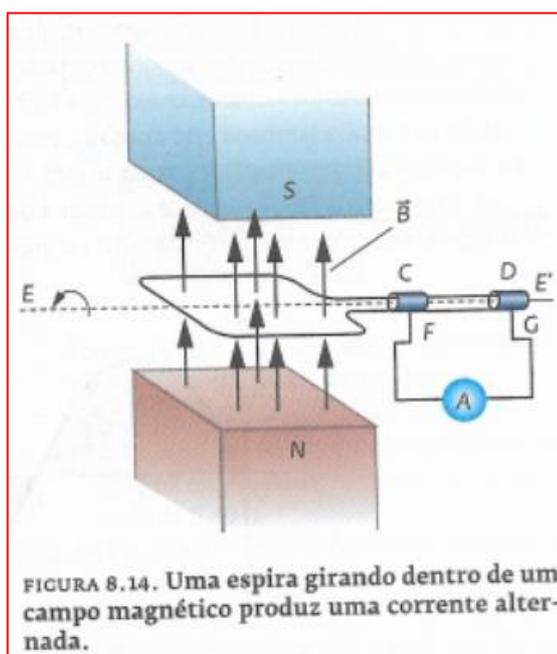


Figura 4.1. Gerador de corrente alternada. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.231.)

Embora seja uma fotografia, a imagem 4.2 não se explica por si mesma. A sequência didática a qual pertence, juntamente com a legenda não esgota as possibilidades de interpretação e o aluno perde de vista os elementos composicionais de um gerador de corrente alternada, a figura, embora altamente realista e com baixo grau de iconicidade não é capaz de ajudar o aluno na compreensão do fenômeno, pois, eixos, bobinas, espiras, fluxo magnético, e demais elementos perdem-se de vista tornando-se uma imagem meramente ilustrativa e de pouco potencial didático. Enriquecer a legenda no sentido de ampliar a compreensão do que foi fotografado revela-se uma ação didaticamente promissora.



Figura 4.2. Gerador de corrente alternada. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.231.)

As figuras devem ser bem trabalhadas pelos autores em função de seus objetivos, com explicações sobre os esquemas e signos utilizados, pois exigem uma alfabetização científica-visual. É fundamental entender que as imagens e suas legendas são essenciais para as atividades cognitivas do pensamento dos leitores.

A lei de Faraday é trabalhada abordando-se três possibilidades de geração de corrente elétrica: a variação do ângulo da espira ou condutor de eletricidade em

relação ao campo magnético, a variação do fluxo magnético e a variação da área da espira ou condutor de eletricidade que cruza o campo magnético.

O conceito de campo magnético na obra *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014), é trabalhado apoiando-se o conteúdo científico relacionado ao fluxo magnético. O fato de não aparecer referências à impossibilidade dos monopolos magnéticos, da infinitude das linhas de campo ou da origem e fim das linhas de campo é facilmente explicado pelo fato destes conteúdos científicos serem abordados em outros capítulos da obra. Porém há três imagens dedicadas a ilustrar o fluxo magnético, e assumem o aspecto esquemático como mostrado na figura 4.3.

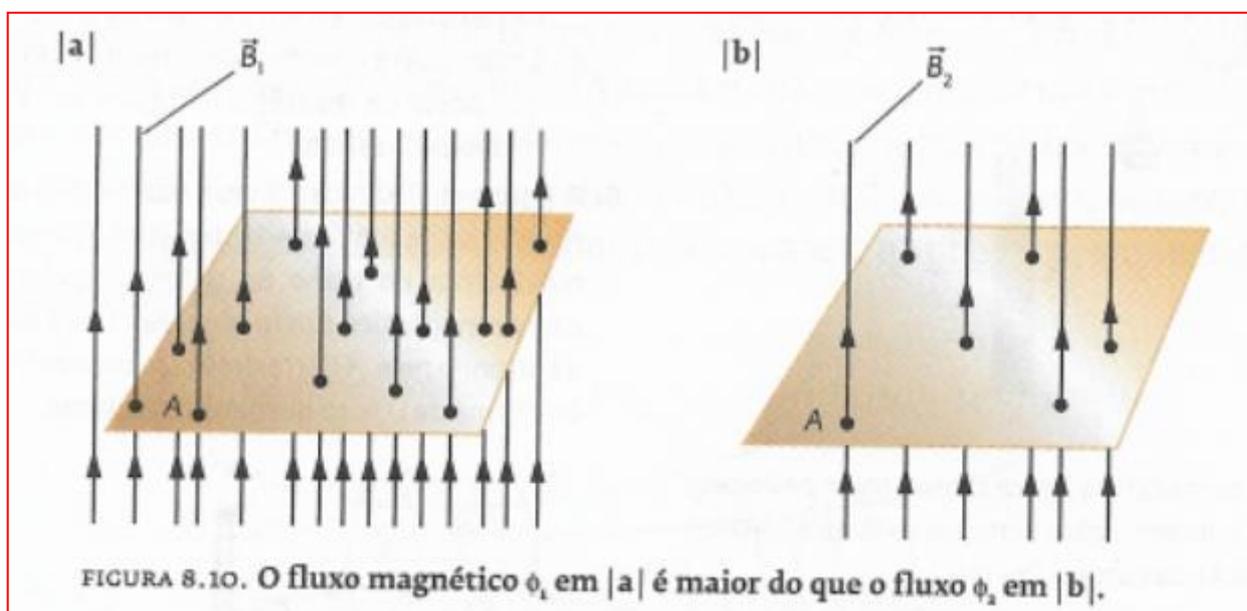


Figura 4.3. Fluxo Magnético. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.228.)

A lei de Lenz é explorada a partir da perspectiva do sentido das correntes induzidas. Não há referências ao princípio da conservação da energia que sustenta este fenômeno. A ilustração segue o modelo figurativo mais sinais de descrição padronizados apresentados anteriormente. A ilustração mais típica para este fenômeno é a apresentada na figura 4.4. São sinais de descrição padronizada as linhas de campo, os vetores e a indicação da corrente elétrica, os demais elementos composicionais da ilustração são formas figurativas, tais como os ímãs e as espiras.

Essa ilustração é suficiente para a compreensão do conceito na perspectiva de sua aplicação prática, mas ao se criar um vínculo com outros elementos teóricos do estudo da Física, tal como a conservação da energia, o aluno amplia a sua compreensão do mundo, é fundamental não se perder de vista que aprender ciências, ou falar ciências, implica em construir uma ampla e rica conexão entre conceitos científicos.

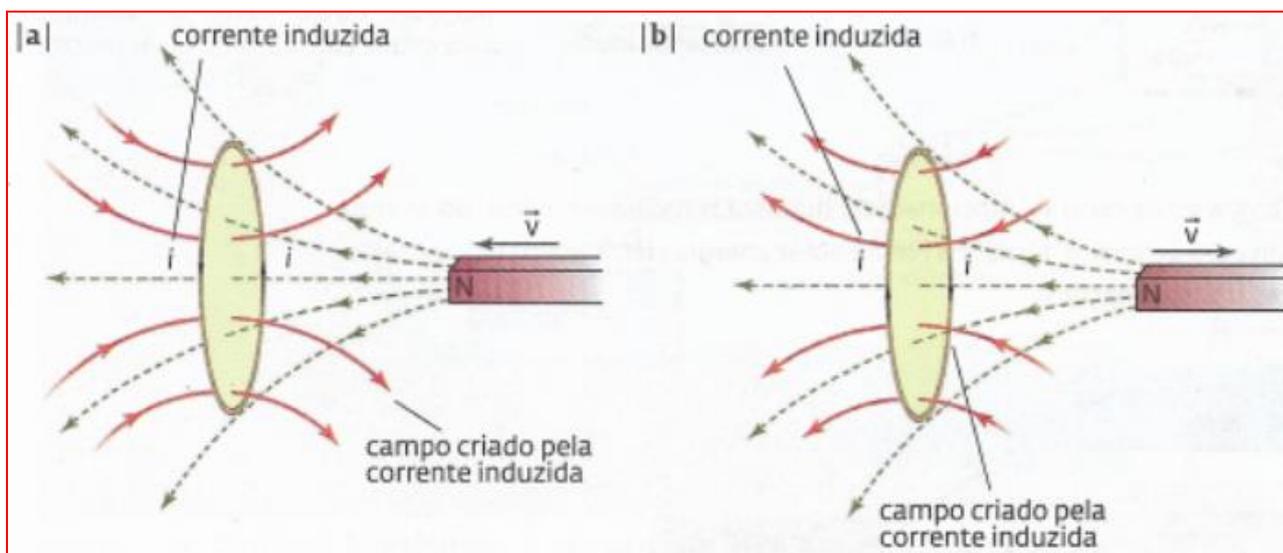


Figura 4.4. Lei de Lenz. Fonte: *Curso de Física*, de Máximo e Alvarenga (2014, p.236.)

Para os conceitos analisados, a saber, Lei de Faraday, Campo elétrico e Magnético, Corrente Induzida e Lei de Lenz, observamos que existe a possibilidade de se ampliar o alcance da compreensão dos fenômenos por intermédio das imagens. Para a lei de Faraday, foram tratados satisfatoriamente todos os casos de geração de corrente elétrica por indução: variação do ângulo, variação do fluxo magnético e variação das áreas.

As discussões sobre o campo elétrico e magnético permaneceram centradas no conteúdo científico relacionado ao fluxo magnético. Porém, os demais conteúdos científicos que sustentam estes conceitos, tais como a origem das linhas de campo e a impossibilidade de monopolos magnéticos são tratados nos capítulos 2 e 6 da mesma obra.

A lei de Lenz foi bem trabalhada sob o ponto de vista da interação entre a sequência didática e a ilustração do conceito, porém a questão fundamental que se refere à conservação da energia não foi abordada.

Para a corrente induzida, o capítulo não busca explicar a natureza da corrente elétrica, isto se explica pelo fato de ser um conceito abordado no capítulo sobre eletrodinâmica, capítulo 4 sobre Corrente Elétrica. Embora o capítulo não faça referências para diferenciar Corrente Contínua e Corrente Alternada, a Corrente alternada é fruto de discussões em diversos pontos do capítulo, tais como para explicar os geradores de corrente alternada e os transformadores.

A omissão destes conteúdos científicos no capítulo analisado não invalida a proposta didática articulada pelos autores, mas aponta para possibilidades didáticas que podem ser relevantes para a complementação das sequências didáticas apresentadas, como por exemplo, na melhor compreensão da relação existente entre eletricidade e magnetismo.

b) Física para Cientistas e Engenheiros

Conforme previamente observado, no livro de ensino superior as imagens mostram-se mais abstratas e esquemáticas. A lei de Faraday é tratada sob o aspecto da variação do fluxo magnético e da variação do ângulo. A variação do ângulo surge nas discussões sobre as aplicações práticas da lei de Faraday, sendo uma variável que ajuda a descrever o funcionamento de um gerador de corrente alternada, na figura 4.5, é possível observar a influência do ângulo na geração da corrente alternada.

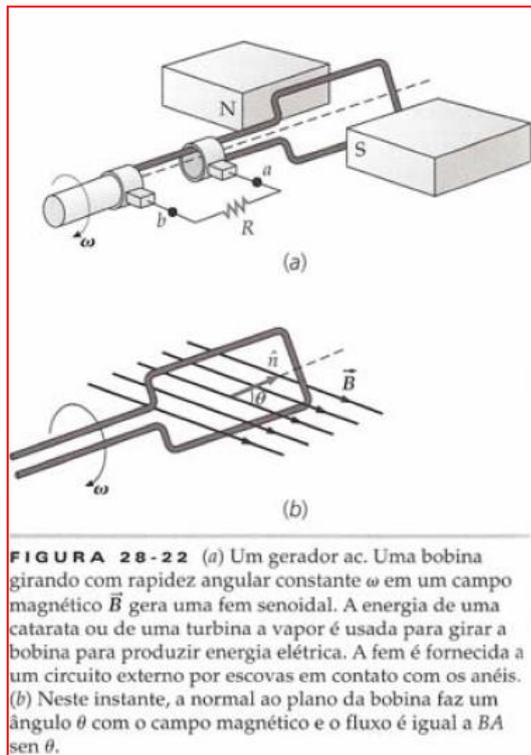


Figura 4.5. Gerador de Corrente Alternada. Fonte: Física para Cientistas e Engenheiros (2015, p. 274)

O fluxo magnético revela-se fundamental para a compreensão do conceito de campo magnético. Todo o fenômeno da indução é tratado apoiando-se neste conteúdo científico. Outros conteúdos como a infinitude das linhas de campo e a impossibilidade dos monopolos magnéticos são tratados em outros capítulos.

Não há uma sequência específica para tratar da natureza da corrente elétrica, porém a corrente alternada surge como elemento fundamental para a descrição de aplicações práticas do fenômeno da indução, tais como geradores e motores de corrente alternada e transformadores. A lei de Lenz é trabalhada apenas sob o aspecto do sentido das correntes, não há discussões relacionadas à conservação da energia.

Essas características revelam que há um bom espaço no plano didático a ser explorado tanto pelos autores de livros didáticos, como pelos professores em relação ao uso das imagens. Cada um dos conteúdos científicos presentes no quadro 3.21 e que não foram abordados na obra, revela um potencial didático a ser explorado.

Ainda, de acordo com a análise dos conceitos científicos, a saber, a Lei de Faraday, Campo elétrico e Magnético, Corrente Induzida e Lei de Lenz, mostrados

nos quadros 3.20 e 3.21, em ambas as obras é possível observar que poucas vezes as imagens são suficientes para tratar os conteúdos científicos fundamentais relacionados a estes conceitos. Apenas as cores, nitidez, qualidade de impressão ou abundância de imagens não são suficientes para surtir o efeito didático desejado. É necessária uma sofisticada combinação de imagens, legendas e textos para que o conteúdo seja explorado com profundidade, abordando os conceitos e seus fundamentos científicos.

II. SOBRE AS DEMAIS CATEGORIAS

A revisão da literatura revelou que não existe um consenso entre os autores e editoras de livros didáticos quanto à utilização das imagens. Nota-se uma utilização arbitrária, baseadas em critérios não pedagógicos para as escolhas das ilustrações. As obras analisadas apresentam elevadas discrepâncias quanto à quantidade de imagens, seu conteúdo científico, a iconicidade, bem como das demais categorias apresentadas neste trabalho. Há livros que apresentam o conceito de “lei de Faraday” com uma combinação de 12 imagens, mas outros apresentam o mesmo conceito fazendo o uso de apenas 1 ou 2 imagens.(TOMMASIELLO, SANTANA, 2017).

Se os objetivos dos autores não são claros, e as legendas ou explicações são insuficientes, logo haverá uma maior dificuldade da interpretação dessas imagens pelos estudantes, ou seja, essas imagens tornam-se mais complexas. A complexidade das imagens em Física pode ser uma das razões pelas quais a Física é vista como mais difícil e mais teórica do que outras ciências, segundo Duitet al. (2007, apud BUNGUM, 2008).

O salto de complexidade de uma obra para outra é também um fator que chama a atenção, as representações saltam de um nível de alta iconicidade, ou seja, de pouca complexidade no geral, presentes no livro de ensino médio para representações de baixa iconicidade e alta carga simbólica no livro para ensino superior. Se o estudante opera em sua maioria com imagens de baixa complexidade no ensino médio então o contato imediato com imagens e representações altamente

complexas é fator fundamental nas dificuldades encontradas por estes estudantes no ensino superior.

A análise de iconicidade sustenta essa observação, de acordo com o gráfico das figuras 3.16 e 3.41, observa-se um total de 36% das imagens sendo fotografias na obra para ensino médio contra 8% das imagens sendo fotografias na obra para o ensino superior, ou seja, o salto de alta iconicidade para baixa iconicidade é notadamente significativo. No transcurso de sua formação o aluno passa repentinamente de um conteúdo didaticamente menos complexo para um de alta complexidade. Essa diferença continua a ser observada sobre o ponto de vista da categoria Desenho Esquemático mais Sinais, é possível observar um total de 19% das imagens no livro para ensino superior contra um total de 8% no livro de ensino médio. Do ponto de vista dos desenhos figurativos que são menos complexos, observa-se um total de 3% das imagens no livro para ensino superior contra o total de 22% das imagens contidas no livro para Ensino Médio. Aqui a tendência é bem clara: quanto maior o grau de complexidade de uma categoria, mais essa é utilizada no livro de ensino superior, enquanto o livro de ensino médio prioriza a utilização de figuras menos complexas.

Quanto à funcionalidade das imagens, o salto em complexidade também é evidente. No gráfico das figuras 3.20 e 3.48 é possível observar este fato. 70% das imagens contidas no livro para ensino médio, no capítulo sobre indução magnética, são do tipo inoperante, ou seja, são apenas observáveis pelos alunos, já para o livro de ensino superior apenas 19% das imagens pertencem a esta subcategoria. Não há ocorrências de figuras sintáticas no livro para ensino médio, porém no livro para ensino superior 41% do total das figuras, ou seja, sua maioria pertence a esta subcategoria, a qual exige do aluno o conhecimento de regras específicas, tais como vetores e circuitos elétricos. As figuras pertencentes à subcategoria Inoperantes, são a minoria no livro para ensino superior e representam apenas 19% do total de figuras. Aqui fica evidente o salto em nível de esforço cognitivo para a interpretação das figuras quando tomadas como referências as duas obras, uma para ensino médio e outra para o ensino superior.

De acordo com os gráficos das imagens 3.23 e 3.51, em sua quase totalidade, 92% das imagens analisadas no livro para ensino médio, estão associadas à

subcategoria denotativa quando observada a sua relação com o texto principal. Em sua maioria, o texto estabelece a correspondência entre os elementos da ilustração e os conteúdos representados.

Não pode ser ignorada a importância das legendas, como já discutido no capítulo três, são elas as responsáveis pelo vínculo entre o texto principal, a imagem e a compreensão do leitor. Em ambas as obras predominam as legendas do tipo relacional, com 92% das imagens sendo referenciadas por esta subcategoria em ambas as obras.

Uma vez constatado este salto em relação ao nível de complexidade entre as duas obras, a gradação pode ser um recurso eficaz no auxílio à superação dessa questão, ou seja, sugere-se aumentar gradativamente a carga simbólica das representações, ao mesmo tempo em que se reduz gradativamente a iconicidade dessas imagens e representações, a fim de se obter uma continuidade crescente entre os níveis de complexidade das representações em vez de uma ruptura severa nesse processo.

Para tanto, primeiro é necessário que se construa um consenso entre autores, produtores de materiais didáticos, editoras, ou, até mesmo, pesquisadores para os critérios de utilização das imagens e registros de representações semióticas nos livros didáticos, critérios que não se mostram presentes nas obras contemporâneas. A partir destes critérios, que podem ser criados a partir das categorias apresentadas nesta pesquisa, é necessário estabelecer uma forma de continuidade que parte das imagens mais elementares, figurativas e altamente icônicas nos livros de ensino médio e evolua gradativamente para figuras mais complexas e de baixa iconicidade nos livros de ensino superior, fomentando uma formação sólida para os estudantes no transcurso de sua formação.

As fronteiras a serem expandidas, bem como as barreiras a serem superadas rumo a essa sugestão são muitas, mas o objetivo e o que está em questão é muito nobre para que fique à margem de discussões.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve como objetivo analisar as representações sígnicas em livros de Física do ensino superior e médio, buscando responder a questão: Quais as características das imagens que acompanham os textos das áreas de eletricidade e magnetismo em livros didáticos de física do ensino médio e superior? Interessou-nos, portanto, compreender as possibilidades didáticas das imagens que acompanham os textos e suas respectivas legendas, uma vez entendido que a conceitualização e a compreensão de certos fenômenos depende de sua visualização, como é o caso de campo elétrico e campo magnético.

Grande parte da superfície dos livros didáticos é ocupada pelas imagens, portanto nos orientamos primeiro em encontrar uma teoria que fosse capaz de auxiliar na compreensão do papel das imagens para a formação e compreensão dos conceitos científicos pelo estudante, segundo investigar as possibilidades didáticas que giram em torno dessas imagens. Apoiando-se nas categorias de análise de imagens apresentadas por Perales e Jiménez (2002) e associando-as com a teoria semiótica, foi desenvolvida uma metodologia de pesquisa potencialmente fecunda para tratar com profundidade essas questões, limitando o campo empírico nos próprios livros didáticos.

Para o estudo dos conceitos científicos, foram utilizadas as categorias (e subcategorias) de análise propostas por Perales e Jiménez (2002) para avaliar a adequação das imagens em livros de ciências. São elas: função no texto (para que as imagens são utilizadas), iconicidade (grau de complexidade da imagem); funcionalidade (o que se pode fazer com as imagens); relação com o texto (referências mútuas entre texto e imagem); legendas verbais (textos incluídos nas ilustrações) e conteúdo científico (as imagens se apoiam ou não em representações chave para a correta interpretação dos fenômenos), bem como a análise composicional relacionada às cores.

Assim, foram analisadas as obras de Tipler e Mosca, Física para cientistas e engenheiros, por apresentar estratégias de solução de problemas, expressiva utilização nas faculdades de Engenharia e Física e servir de referencial teórico para vários autores de livros didáticos de Física, e de Antônio Máximo e Beatriz

Alvarenga, que aborda o ensino de Física para o ensino médio, por estar na lista de obras selecionadas para o PNLEM 2015 (Programa Nacional do Livro para o Ensino Médio), expressivamente utilizados nas redes de ensino e também por possuir uma riqueza de imagens.

Desses livros, foram analisados os capítulos sobre eletricidade e magnetismo dada a importância das imagens na conceitualização de determinados objetos de conhecimentos abstratos como é o caso de campo elétrico e campo magnético. As imagens, as legendas e os textos que as acompanham foram identificados, separados, contabilizados e analisados com base nos preceitos da análise semiótica.

Para os conceitos analisados, a saber: Lei de Faraday, Campo elétrico e Magnético, Corrente Induzida e Lei de Lenz, observamos que existe a possibilidade de se ampliar o alcance da compreensão dos fenômenos por intermédio do uso criterioso das imagens, ou seja, apenas as cores, nitidez, qualidade de impressão ou abundância de imagens não são suficientes para surtir o efeito didático desejado. É necessária uma sofisticada combinação de imagens para que o conteúdo seja explorado com profundidade, abordando os conceitos científicos e os conteúdos científicos que fundamentam os conceitos.

O salto de complexidade de uma obra para outra é um fator que chamou a atenção, as representações saltam de um nível de alta iconicidade, ou seja, de pouca complexidade no geral, presentes no livro de ensino médio para representações de baixa iconicidade e alta carga simbólica no livro para ensino superior. Se o estudante opera em sua maioria com imagens de baixa complexidade no ensino médio então o contato imediato com imagens e representações altamente complexas é fator fundamental nas dificuldades encontradas por estes estudantes no ensino superior.

Observamos que um total de 36% das imagens são fotografias na obra para ensino médio contra 8% das imagens sendo fotografias na obra para o ensino superior, ou seja, o salto de alta iconicidade para baixa iconicidade é notadamente alto. No transcurso de sua formação o aluno passa repentinamente de um conteúdo didaticamente menos complexo para um de alta complexidade. Essa diferença

continua a ser observada sobre o ponto de vista da categoria desenho esquemático mais sinais, é possível observar um total de 19% das imagens no livro para ensino superior contra um total de 8% no livro de ensino médio. Do ponto de vista dos desenhos figurativos que são menos complexos, observa-se um total de 3% das imagens no livro para ensino superior contra o total de 22% das imagens contidas no livro para ensino médio num claro aumento repentino de complexidade das imagens entre as obras analisadas.

O instrumento de análise revelou-se sofisticado, rigoroso e abrangente, pois, trata-se de uma combinação da teoria semiótica tradicional com a contemporânea semiótica social. A teoria semiótica tradicional, fundamentada principalmente em Charles Sanders Peirce, fundamentou a compreensão do signo, e conduziu principalmente a uma profunda compreensão da categoria iconicidade, a qual foi fundamental na análise da complexidade das ilustrações ou das próprias obras analisadas. A semiótica social, fundamentada principalmente nos trabalhos de Jay Lemke, conduziu o estudo a uma profunda aproximação do papel do professor no transcorrer da formação do aluno. As categorias de análise das imagens combinada com a teoria semiótica revelaram-se suficientes para uma profunda compreensão das imagens exigida nesta investigação.

A partir desse instrumento de análise, os resultados esperados foram atingidos, pois foi possível classificar as imagens sob vários parâmetros, verificando as suas potencialidades em auxiliar (ou não) os alunos na formação dos conceitos e conduzi-los à habilidade de “falar sobre ciências”.

Assim, a importância desta pesquisa se traduz no seu potencial em fornecer subsídios para uma melhor compreensão e avaliação da natureza das demandas desses textos e das suas possibilidades de leitura, subsidiando didaticamente professores e alunos em sala de aula. Os resultados enfatizam, também, a necessidade de problematizar tanto as condições sociais de produção das imagens, quanto às condições sociais de produção da leitura das imagens. A primeira perspectiva nos chama atenção para a necessidade de considerar as tecnologias e suas linguagens específicas no entendimento de imagens. A segunda, diz respeito às dimensões envolvidas ao considerarmos a leitura na perspectiva discursiva, isto é, a relação leitor-texto-autor, sentidos de leitura, modos de leitura e suas relações

com contextos, espaços e finalidades específicas como, por exemplo, a leitura na escola.

A omissão de alguns conteúdos científicos no capítulo analisado não invalida a proposta didática articulada pelos autores, mas aponta para possibilidades didáticas que ao serem abordadas podem ser relevantes para a complementação das sequências didáticas apresentadas, ou seja, podemos inferir, por exemplo, que se a lei de Lenz fosse tratada abordando a questão da conservação de energia, então a compreensão do aluno sobre este conceito seria mais ampla e sólida, não perdendo de vista que aprender ciências implica em estabelecer conexões entre conceitos científicos. Não é possível a produção de energia elétrica sem que seja realizado um *trabalho*. A Lei de Lenz evidencia o aparecimento de uma reação contrária à ação provocada pelo ímã e essa reação ocorre, pois para mudar o movimento de uma carga elétrica de um condutor, esta tem que receber um impulso proveniente de uma força aplicada. É importante mostrar aos alunos que grandezas como quantidade de movimento e energia se conservam em todos os processos ocorridos em sistemas isolados na natureza. Sem o emprego da conservação da energia na explicação do aparecimento da corrente induzida ora em um sentido, ora em outro, essa se torna algo mágico, que ocorre sem maiores elucidações.

Embora alguns conteúdos científicos não tenham sido apresentados de forma esperada, os livros analisados são, tradicionalmente, reconhecidos como boas referências. A obra “Curso de Física” para ensino médio é amplamente rica em ilustrações e segue as sequências didáticas com um discurso claro e objetivo. O livro para o ensino superior chama à atenção por sua complexidade repentina, o que nos conduz a sugerir a gradação da complexidade das imagens no transcorrer da formação do estudante, ou seja, a edição de manuais didáticos menos complexos no início do ensino médio aumentando-se gradativamente a complexidade até que se atenda às exigências dos conteúdos do ensino superior. Este é um importante fator a ser considerado pelos produtores de manuais didáticos.

Esta pesquisa, no entanto, não esgota as possibilidades de investigação. O signo como apresentado surge no universo humano em suas mais variadas faces: na entonação expressiva de uma sentença, nas palavras em sua realidade mais objetiva e abstrata, na postura do interlocutor que anuncia uma ideia e muito

expressivamente, nas imagens. A expressividade e a influência do uso das imagens nos processos de formação da consciência é um fenômeno contemporâneo, caracterizado pelo desenvolvimento e pelo avanço dos meios de comunicação, principalmente da informática e da cibernética, que já fazem parte do cotidiano do escolar. Essa influência já é objeto de pesquisa de especialistas em educação, como Fonseca (2014) ao analisar as interações multimodais no âmbito da semiótica social em uma sala de aula.

Os critérios para o uso das imagens são importantes e também quanto mais qualidade elas apresentarem, mais acesso o estudante terá ao objeto de conhecimento. Essas imagens podem ser geradas por computadores, tridimensionais, dotadas de movimentos, cores de alta resolução e marcações e legendas que se fundem com a própria imagem em uma tela digital. Seriam exemplos de iconicidade e legendas sinóticas em seu mais expressivo alcance. Entretanto, mesmo esses recursos digitais ou tecnológicos não falam por si, podendo ser objetos de novas investigações quanto as suas possibilidades em auxiliar os alunos na compreensão dos conceitos científicos.

Como esta pesquisa se limitou à análise de 02 livros didáticos ofertados para níveis diferentes de escolaridade, ficamos impossibilitados em estabelecer relações entre os critérios utilizados pelos autores para a escolha das imagens. Entretanto, em um artigo dedicado ao estudo do papel das imagens sobre a lei de Faraday em 15 livros didáticos de Física, editados de 1976 a 2014, de Tommasiello e Santana (2018), nota-se que é bastante diverso o tratamento imagético da Lei de Faraday pelos autores. Há livros que trazem uma única imagem, enquanto outros utilizam cerca de 10/20 imagens. Observa-se uma tendência do aumento de imagens conforme a data mais recente da publicação. A maioria das imagens (53%) é figurativa+ signos, com legenda relacional (41%) e mostrando a geração da corrente elétrica induzida a partir de um campo magnético variável próximo a um circuito (40%). Apesar de a imagem figurativa+ signos ter maior representação é grande o número de imagens esquemáticas+signos (39%). E em menor número as figurativas (6%). Em geral, as esquemáticas envolvem um aumento da especialização do conteúdo e um maior número de convenções que dificultam sobremaneira o entendimento. Este estudo revela ainda a falta de critério consensual entre os

produtores de manuais didáticos, ou seja, não há um critério definido que orienta a utilização das imagens.

Por fim vale ainda ressaltar a importância de mais pesquisas sobre essa temática, pois como já apontado pela literatura, os manuais didáticos são a principal ferramenta para a sistematização do ensino em sala de aula, e as imagens ocupam mais de 50% da superfície das folhas destes manuais para o ensino de Física. Ainda há muitos campos do saber, dos quais professores, alunos e produtores de manuais didáticos podem ser beneficiados quando se busca responder às questões: Quais as características das imagens que acompanham os manuais didáticos? Qual o papel das imagens no aprendizado e na formação da consciência do escolar?

Quanto à primeira pergunta, acredita-se que em relação a alguns conteúdos de eletromagnetismo, esta pesquisa deu conta de responder, mas há outros inúmeros conceitos importantes que merecem ter as suas imagens avaliadas e quanto à segunda, sobre o papel das imagens no aprendizado, que envolveria a sala de aula e aprendizes, é um caminho interessante a ser trilhado uma vez que abre um leque de possibilidades de estudos futuros.

Em pesquisas futuras, duas vias, ou abordagens podem ser adotadas: a primeira baseada na contemporânea teoria Semiótica Social, amplamente discutida por Lemke (1990), na qual o papel do professor, como mediador do conhecimento pode combinar-se com o expressivo uso das imagens no ensino contemporâneo. A segunda, leva em consideração o processo de formação da consciência do escolar, discutido em Vigotski (2010). Compreender este processo, bem como a influência das imagens neste complexo desdobramento, caracterizado por um movimento dialético entre pensamento e linguagem, no qual está interdependente o desenvolvimento dos conceitos espontâneos e conceitos científicos, implica em apontar para questões fundamentais relacionadas à formação dos professores das ciências naturais e matemática. Uma combinação dessas duas vias teóricas mostra-se promissora, pois, tratam de questões diretamente relacionadas ao desenvolvimento humano no plano da educação.

REFERÊNCIAS

- ALVARENGA, B., MÁXIMO, A. **Curso De Física: Volume 3**. São Paulo: Scipione, 2014
- BAKHTIN, M. [= Voloshinov, V.N.] (1929). **Marxismo e filosofia da linguagem**. 3. ed. São Paulo: Hucitec, 1986.
- BENVENISTE, E. Estrutura das relações de pessoa no verbo. In: **Problemas de Lingüística Geral I**. 3 ed. São Paulo: Pontes, 1991.
- BUNGUM, B. **Images of physics: an explorative study of the changing character of visual images in norwegian physics textbooks**. *Nordina*, 4. 2008
- CHESMAN, C., André, C. Macedo, A. **Física Moderna: Experimental e Aplicada**. 2ª ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004.
- DIAS, V. S. Michael Faraday: subsídios para metodologia de trabalho experimental. Dissertação (de mestrado) Instituto de Física da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2004.
- DUVAL, R. **Semiósis e pensamento humano**: Registros semióticos e aprendizagens intelectuais. Trad. Lênio Fernandes Levy e Marisa Rosâni Abreu Silveira. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2009.
- DUVAL, R. **Ver e ensinar a Matemática de outra forma**: entrar no modo matemático de pensar: os registros de representações semióticas. São Paulo: Proem, 2011.
- FONSECA, V. A. C. (2014). **Interações Multimodais em uma sala de aula de Biologia**. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo horizonte, MG, Brasil.
- HALLIDAY, M. A. K. **Estrutura e função da linguagem**. In: LYONS, J. (Org.) **Novos horizontes em linguística**. Tradução de Jesus Antônio Durigan. São Paulo: Cultrix, 1976. p. 134-160.
- HALLIDAY, M. A. K. **Language as social semiotic: The social interpretation of language and meaning**. London: Edward Arnold, 1978.
- JEWITT, C., KRESS, G., OGBORN, J., & TSATSARELIS, C. **Exploring learning through visual, actional and linguistic communication: The multimodal environment of a science classroom**. *Educational Review*, v. 53, n. 1, p. 5-18, 2001.

JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P.; ERDURAN, S. Argumentation in Science Education: An Overview. In: ERDURAN, S.; JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M. P. (Ed.) **Argumentation in Science Education: perspectives from classroom based research**. Dordrecht: Springer, 2007. Cap. 1, p. 3-28.

KUHN, T.S. **A estrutura das revoluções científicas**. 9. ed. São Paulo: Perspectiva, 2005.

LEMKE, Jay L. **Talking science: language, learning, and values**. Norwood, NJ: Ablex, 1990.

LEMKE, J. Multimedia Demands of the Scientific Curriculum. *Linguistics and Education*, v.10, n.3, p.1-25, 2000.

MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino de física: a teoria de aprendizagem de David Ausubel como sistema de referência para a organização do ensino de ciências**. Porto Alegre: Ed. Da Universidade, UFRGS, 1983.

MORTIMER, E. F.; SCOTT, P. H. **Atividade discursiva nas salas de aula de ciências: uma ferramenta sociocultural para analisar e planejar o ensino**. *Investigações em Ensino de Ciências*, v.7, n. 3, p.283-306, 2002.

OGBORN, J. **Science education and semiotics: collaborative work on explanation, imagery and rhetoric**. Conferencia de la Summerschool de ESERA. Barcelona, 1996.

PEIRCE, C.S. **Semiótica**.4. ed. Trad. José T. C. Neto. São Paulo: Perspectiva, 2010.

PERALES, F. J y JIMÉNEZ, JUAN DE DIOS. Las Ilustraciones em La Enseñanza-Aprendizaje de lãs Ciencias. Análisis de Libros de Texto. **Enseñanza de lãs Ciencias**, 2002, 20 (3), 369-386.

PERALES PALACIOS, F. JAVIER. Uso (Y Abuso) de la Imagenen . **Enseñanza De Las Ciencias**, 2006, 24(1), 13–30

REGO, S.C.R e GOUVÊA, G. Imagens na disciplina escolar física: possibilidades de leitura. **Investigações em Ensino de Ciências** – V18(1), pp. 127-142, 2013.

REGO, S.C.R. **Imagens fixas no ensino de Física: suas relações com o texto verbal em materiais didáticos e padrões de leitura de licenciandos**. Rio de Janeiro, 2011. Tese (Doutorado em Educação em Ciências e Saúde) – Núcleo de Tecnologia Educacional para a Saúde, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2011.

SANTOS, C. A. B., CURI, E Os Registros de Representação Semiótica como Ferramenta Didática no Ensino da Disciplina de Física Revemat: Revista Eletrônica de Educação Matemática, Florianópolis, v. 6, n. 1, p. 1-14, fev. 2012. ISSN 1981-1322. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/revemat/article/view/10.5007-19811322.2011v6n1p1/21131>

SIQUEIRA, J.C. O Desvelar da Imagem: análise semiótica de capas de livros do domínio da Ciência da Informação. **Anagrama: Revista Científica Interdisciplinar da Graduação**. Ano 3 - Edição 3 –p. 1-11, Março-Maio de 2010.

TEIXEIRA, Paulo Marcelo Marini. Educação Científica e Movimento C.T.S. no quadro das tendências pedagógicas no Brasil (Science education and the S.T.S. movement in the framework of the pedagogical trends in Brazil). **Revista Brasileira de Pesquisa em Educação em Ciências (RBPEC)**. Volume 3, n. 1, 2003. Disponível em: <https://seer.ufmg.br/index.php/rbpec/article/view/2317/1716>. Acesso em 10.08.2017

TIPLER, P., MOSCA, G. **Física Para Cientistas E Engenheiros, Volume 2: Eletricidade E Magnetismo**. Rio de Janeiro, LTC, 2015.

TOMMASIELLO, M. G. C., SANTANA, S. J. Uma análise das imagens sobre indução eletromagnética em livros de física brasileiros de ensino médio. **Enseñanza de Las Ciencias**, n.º Extraordinario: 1473-1478, 2017. Disponível em: <https://ddd.uab.cat/pub/edlc/edlc_a2017nEXTRA/66_-_Uma_analise_das_imagens_sobre_inducao_eletromagnetica_em_livros_de.pdf> Acesso em 10/03/2018.

VIGOTSKI, L. S. **A construção do pensamento e da linguagem**. São Paulo, Martins Fontes, 2010.

ZIMMERMANN, E.; EVANGELISTA, P. C. Q. Leitura e interpretação de imagens de física no Ensino Fundamental. In: ENCONTRO DE PESQUISA EM ENSINO DE FÍSICA, 9., 2004, Jaboticatubas. **Anais...** Jaboticatubas: Sociedade Brasileira de Física, 2004. Disponível em: <http://www.sbf1.sbfisica.org.br/eventos/epf/ix/atas/posteres/po12-01.pdf>. Acesso em janeiro de 2016.