
FÍSICA BÁSICA: A ORGANIZAÇÃO DE CONTEÚDOS NO ENSINO – APRENDIZAGEM DO ELETROMAGNETISMO¹

Leonor C. Cudmani

Pablo Fontdevila

Instituto de Física – Universidade de Tucumán

San Miguel de Tucumán – Argentina

I. Introdução

Em um trabalho anterior foram analisadas as dificuldades que aparecem durante a aprendizagem do eletromagnetismo tanto no ensino médio quanto nos níveis básicos universitários. Nele defende-se a hipótese de que parte do problema reside na forma em que se estruturam os conteúdos para a instrução. Usualmente, parte-se dos conceitos de carga, campo e potencial, de modo que a linha estrutural vai do “simples” ao “complexo” com um critério lógico, compreensível e racional para o cientista experiente. Mas será esse também o caminho mais adequado para uma aprendizagem eficiente? Existem, na estrutura cognitiva do estudante médio, conceitos prévios que sirvam de ancoragem (subsunoers) para os novos conceitos? Essas idéias abstratas da Física estão ligadas de um modo proveitoso com a experiência prévia? (CUDMANI, 1987).

Com base em levantamentos e estudos realizados, propusemos planejar a instrução utilizando como conceito estruturador do eletromagnetismo o conceito da conservação da energia e, como conceito de partida para iniciar a construção das formalizações específicas do tema, o de corrente elétrica.

Ainda que nosso trabalho se orientasse inicialmente para os níveis do ensino médio, quando os levantamentos se estenderam para os calouros das Facul-

¹ Traduzido pelo Conselho Editorial do CCEF e revisado por Arden Zylbersztajn.

dades de Ciências Exatas, de Engenharia e de Bioquímica os resultados não mostraram diferenças significativas. Isso nos levou a supor que a reestruturação que propusemos pode dar bons resultados também nos cursos básicos universitários (mais adiante faremos referência a uma experiência piloto na Faculdade de Bioquímica).

Analisaremos, no presente trabalho, uma proposta de organização dos conteúdos da instrução, tomando como ponto de referência propostas teóricas cognitivas e operacionais (Piaget, Ausubel, Novak).

II. O organizador prévio

A fim de ordenar os elementos úteis disponíveis na estrutura cognitiva dos estudantes (objeto de nossa pesquisa anterior), consideramos decisivo elaborar o conceito da conservação da energia, pois essa idéia essencial da Física não só aparece “explicando” aos estudantes a natureza do fenômeno eletromagnético como também reúne de forma muito destacada as características essenciais de um elemento estruturador e inclusor. De fato, o organizador prévio deve “proporcionar um ancoradouro conceitual para a incorporação estável e a retenção do material mais detalhado e diferenciado”, objeto da instrução (AUSUBEL, 1963):

- máxima inclusividade e possibilidade de generalização;
- grande poder explicativo;
- capacidade para integrar e inter-relacionar o tema que precede;
- potencialidade para ordenar em forma seqüencial os conteúdos, organizando-os em uma estrutura lógica; e
- capacidade para multiplicar o potencial organizador da estrutura cognitiva.

Portanto, os conceitos selecionados para este fim devem ser “relevantes, inclusivos, claros e estáveis” (AUSUBEL, 1976). O conceito de conservação da energia, dentro da Física, satisfaz todos esses critérios.

Em relação às críticas que se formulam a esta estratégia instrucional, no sentido de que a teoria não especifica se o organizador prévio se trata de um “resumo sobre o tema” ou uma “introdução” ou o “próprio tema” (BARNES et al. 1975; POSNER, G. S. et al. 1976; GUTIÉRREZ, R., 1987), temos a dizer que, para nós, a idéia é clara: trata-se de um elemento unificador que atua como marco referencial. Por um lado, ordena as estruturas prévias e, por outro, facilita a organização da nova informação. Baseados nessa concepção, selecionamos os recursos didáticos que aqui propomos.

Quanto a se tratar de um pré-requisito lógico ou psicológico (NOVAK, 1979), consideramos que não se deve entender o organizador prévio como um pré-requisito, mas sim como um “esqueleto” que facilita dar forma estruturada ao material de ensino. O conceito “conservação da energia” reúne características que são próprias da “ecologia conceitual” de todo estudante. Como bem explica Posner (et al. 1982), no processo de acomodação (o modo mais radical de mudança conceitual), os conceitos “correntes” e as experiências de vida influenciam de forma acentuada na escolha de um novo conceito central e a direção do processo de acomodação se vê então determinada por anomalias, analogias e metáforas, assim como pelo compromisso epistemológico do estudante. Nesse último (parte importante da “ecologia conceitual”), aparecem crenças e conceitos metafísicos sobre a ciência, tais como a necessidade de que o conhecimento mostre “elegância”, “economia” e até “parcimônia”, tanto como que se respeitem “princípios” como o de simetria, o caráter não aleatório do fato físico universal ou a natureza absoluta do espaço e do tempo. Ainda que os autores citados não o mencionem explicitamente, o princípio de conservação faz parte desse aglomerado de crenças e conceitos metafísicos muito arraigados na ecologia conceitual. Portanto, o seu aparecimento na hierarquia máxima do processo de aprendizagem deve dar, no mínimo, segurança, confiança; até a “elegância” pedida a um organizador de tal processo.

Assinalamos também no trabalho citado anteriormente (CUDMANI, L.) que, entre a população estudantil consultada, a energia é um conceito prévio profundamente arraigado que ao mesmo tempo que constitui um aliado valioso da aprendizagem na estrutura cognitiva, tem todas as desvantagens de seu caráter preconceitual ou intuitivo causadas pelas confusões próprias da falta de uma elaboração adequada que o leve ao estágio lógico-formal. O organizador prévio deverá fazer, pois, uma primeira tarefa de limpeza, dando um conteúdo pelo menos qualitativamente exato do subsunso, exatidão que se irá aperfeiçoando até a formulação final do conceito de energia do campo eletromagnético e do vetor de Poynting.

É certo que o grau final de formalização dependerá do grau de maturidade intelectual do estudante: a “tradução” (BRUNNER, 1968) para símbolos poderá ser verbal, na forma integral ou vetorial segundo o estado ou fase de desenvolvimento e não um mero gradualismo nas dificuldades.

Como recurso didático para estruturar o organizador prévio, selecionamos duas atividades:

a) leitura, análise e comentário em grupos de um texto sobre a Conservação da Energia. Trata-se de uma feliz analogia usada por Feynman (1963) com acréscimos nossos para relacionar o que virá com os conhecimentos prévios dos estudantes sobre a conservação da energia em geral.

b) um conjunto de experiências demonstrativas muito simples para se realizar em sala de aula. Trata-se de colocar em ação diversas “fontes” elétricas conhecidas e observar seus “efeitos”. O processo implica a transformação da energia de tais fontes em energia térmica, magnética, mecânica, química, etc., a análise desses processos à luz do princípio de conservação, e a observação do processo inverso e simétrico de transformação, que, em última instância, está presente na origem da energia que as fontes geram ou acumulam. Um esquema desta aula introdutória é mostrado no apêndice I.

III. Estruturação dos conteúdos

A organização lógica dos conteúdos que serão ensinados deve, naturalmente, respeitar critérios de sistematização das conceituações que são característicos da própria disciplina. Para elaborarmos nossa proposta discutimos os seguintes aspectos:

1- O modelo particular de aprendizagem no qual se sustenta a estruturação dos conteúdos. Para Gagné (1974; MOREIRA et al., 1983) a ordem hierárquica deve partir dos conceitos particulares para os mais gerais. Asubel, por sua vez, propõe uma ordem hierárquica na qual no topo aparecem os conceitos mais gerais e inclusivos, seguidos dos subordinados e intermediários e, por último, os mais específicos (MOREIRA, 1983). Isso é coerente com seu modelo de aprendizagem significativa, segundo o qual os novos conceitos adquirem significado à medida que são abrangidos por outros mais amplos. Seguindo essas idéias, Novak (1984) completa esse esquema de diferenciação progressiva com a “reconciliação integrativa” que implica na volta do mais particular para o mais geral (Fig.1).

As redes conceituais de Moreira (1983), ainda que respeitem esses esquemas asubelianos, são mais ricas por incorporarem outros tipos de inter-relações: colocam em evidência semelhanças e diferenças, reconciliam inconsistências, estabelecem analogias e outras ligações entre os conceitos em estudo. Consideramos essa rede muito mais ajustada ao modelo de aprendizagem operacional com o que trabalhamos (CUDMANI et al., 1981). Dessa forma, os conteúdos estão ligados por uma rede flexível e de maior complexidade quanto às inter-relações que apresentam. Isso facilita o emprego de estratégias docentes que

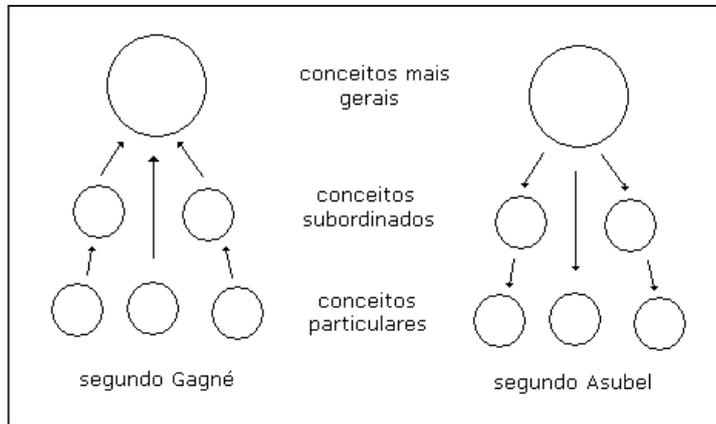


Fig.1

tendem a enriquecer o esquema de assimilação (PIAGET, 1973), uma vez que permite ensinar a operação inversa junto com a direta, facilitando a formação de agrupamentos conceituais coordenados entre si, o que finalmente permitirá seguir caminhos alternativos para ir de um núcleo conceitual a outro. Em resumo, não se trata de discutir se a leitura deve ser ascendente ou descendente, o importante é percorrer todos os laços possíveis fechando uma malha de conceituação na qual, cada vez que se traça uma linha de interligação, se enriquece a aprendizagem operacional e suas características de reversibilidade, agrupamento, associação e organização.

2- Em nosso caso, também consideramos, ao estruturar os conteúdos, a informação de que dispúnhamos com relação aos conceitos prévios e “subsunoeres” disponíveis. Por isso, o conceito organizador é o de Conservação da Energia.

3- Destaquemos, com base nos argumentos anteriormente mencionados, que um “mapa conceitual” que mostre a rede em sua estruturação concreta terá, necessariamente, características idiossincráticas, razão pela qual nossa proposta será **um** possível mapa conceitual, o qual se adequará aos critérios propostos incorporando observações e considerações adquiridas de forma empírica através da experiência docente. Por isso, será necessário explicar aos estudantes essa característica idiossincrática do mapa que se irá construindo, a fim de que este seja utilizado com a devida flexibilidade. Eles devem ser informados de sua

liberdade para ir elaborando seu próprio quadro conceitual, desde que não sejam introduzidas contradições, incoerências lógicas ou noções pouco claras ou inexatas.

Ao final do curso seria muito proveitoso pedir-lhes que defendam seus próprios mapas conceituais. Talvez nos deparemos com a agradável surpresa de que algum aluno tenha elaborado tão bem a lógica interna da disciplina que seja capaz de estruturar os conteúdos em um rigoroso sistema hipotético-dedutivo, tal como o faz Feynman a partir das equações de Maxwell, ou Roederer com base na força de Lorentz expressa em forma vetorial. Isso mostraria que seus conceitos prévios foram realmente modificados pela aprendizagem, desde seus paradigmas intuitivos até os paradigmas mais próximos do pesquisador científico.

Reproduzimos nosso mapa conceitual na Fig. 2. Ali se destacam alguns subsunsores de nível intermediário, tal como o conceito de força em suas diferentes manifestações, conceito que se deve considerar um inclusor de uma ordem menor de generalidade. A fim de não obscurecer em demasia o quadro, não se esgotou as possíveis interconexões, mas apenas se assinalou aquelas mais significativas, em particular as trocas de energia em seus diferentes tipos. Mas o mapa pode ser enriquecido integrando, por exemplo, a energia mecânica com a eletromagnética.

O quadro apresenta os elementos mais relevantes, os núcleos estruturais do eletromagnetismo. Em uma análise mais detalhada, poder-se-á elaborar redes semelhantes a partir dos inclusores de menor generalidade nas quais se incluirão conceituações mais específicas e particulares. Nesses quadros complementares, o esquema chegará eventualmente a diferenciar-se segundo o curso, seja, por exemplo, para bacharéis ou técnicos, para bioquímicos ou engenheiros.

O Apêndice II mostra alguns exemplos de temas que podem ser considerados dentro de cada um desses inclusores menos gerais.

IV. A ordem sequencial da apresentação de conteúdos

A rede apresentada na Fig.2 não determina uma ordem sequencial da instrução, mas sim sua estrutura geral. Este ordenamento sequencial está explicitado na Fig. 3.

Com certeza, a linha condutora continua sendo as diferentes formas nas quais se manifestam as trocas de energia, desde as formas conhecidas: mecânica, térmica, química, até as ligadas com o eletromagnetismo.

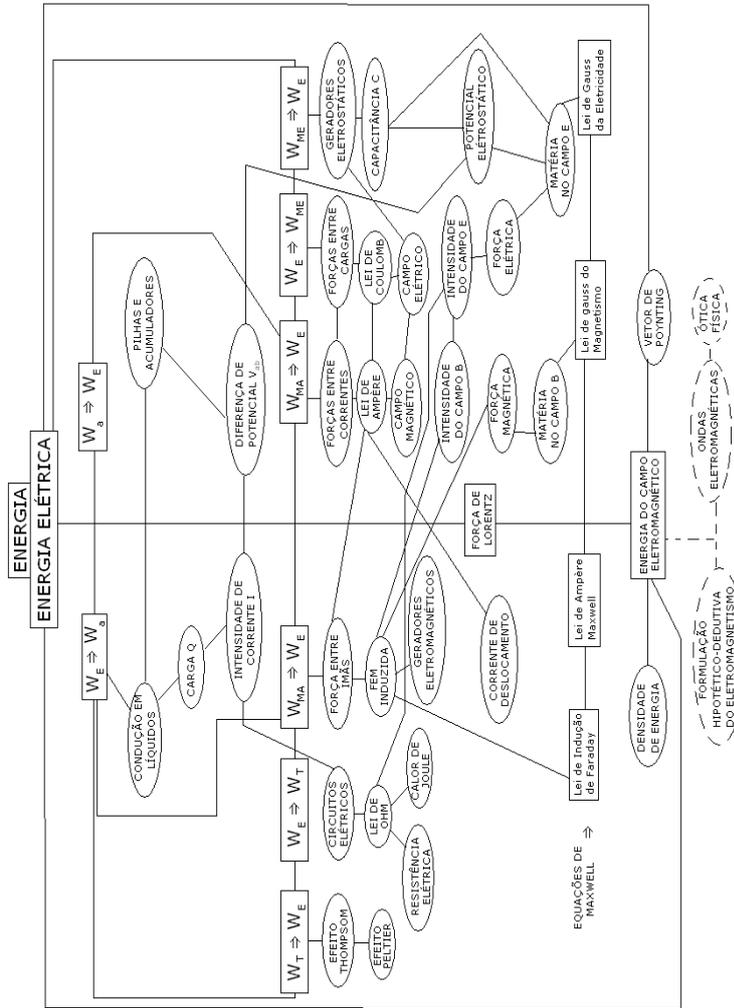


Fig. 2- Mapa Conceitual

O conceito que se define operacionalmente em primeiro lugar é o de corrente (e carga) elétrica.

Esses conceitos são introduzidos a partir da medida de duas grandezas fundamentais, a massa e o tempo, e de um modelo simples para interpretar os resultados experimentais obtidos por Faraday na condução eletrolítica. As unidades fundamentais, coulomb e ampère, ficam assim definidas de forma absoluta. Mais adiante, será possível retomar a definição mais atual e exata do ampère a partir da interação entre correntes.

A seleção já foi devidamente justificada em outro trabalho (CUDMANI, 1987). A decisão de começar pela eletrodinâmica, em vez de pela eletrostática tradicional, é o núcleo central de nossa proposta. Ela está fundamentada principalmente em observações e pesquisas que manifestam um predomínio notável de concepções prévias intuitivas no domínio escolhido.

A partir dos conceitos mais gerais e inclusivos, vão sendo introduzidas conceituações de menor generalidade, porém que permitem ser elaboradas em níveis mais rigorosos de análise e definidas com maior rigor (diferenciação progressiva) para retornar, num processo dialético, ao inclusor geral, redefinindo-o com precisão cada vez maior e enriquecendo seu significado (reconciliação integrativa). (AUSUBEL, 1976; MOREIRA, 1983).

Esse processo continua até as conceituações mais particulares e específicas, por exemplo, as referidas a campos concretos de aplicação, por um lado, e às formulações mais rigorosas das idéias iniciais, por outro.

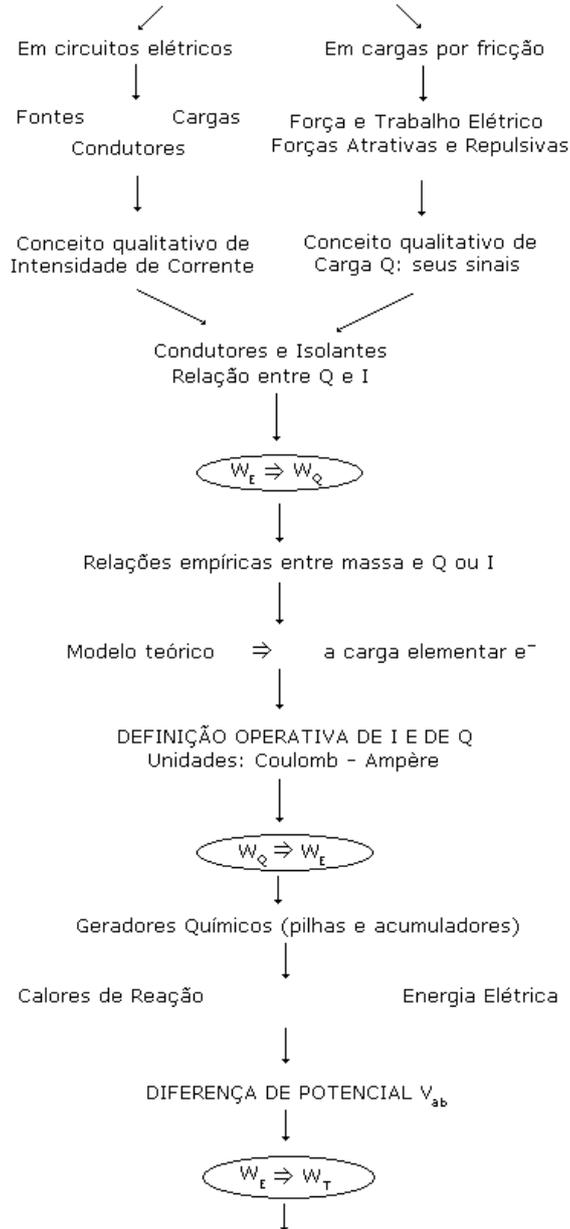
Além disso, os conceitos que figuram no final do quadro servirão como excelentes organizadores prévios para futuras aprendizagens: ondas eletromagnéticas, a luz como uma onda eletromagnética, a ótica física.

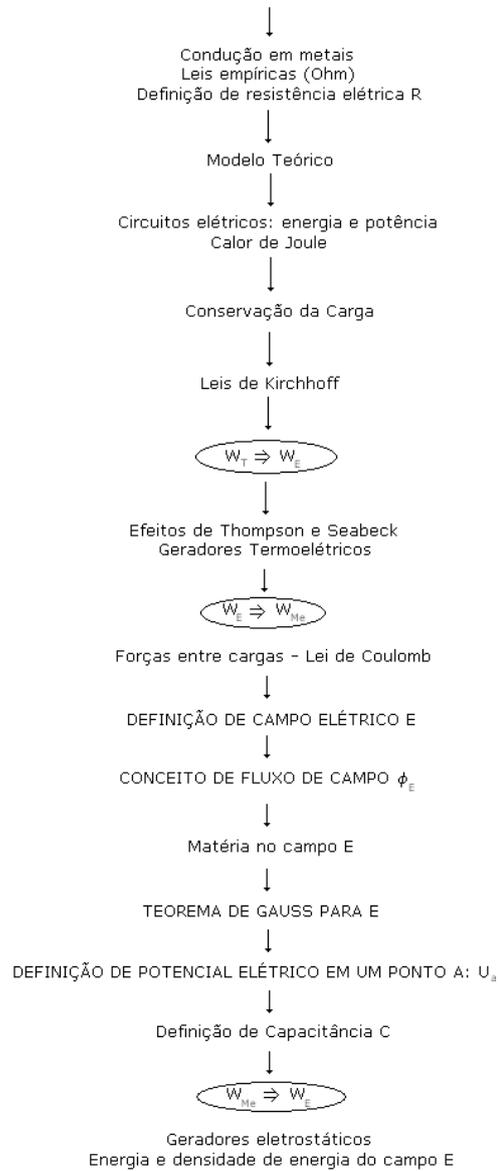
V. Conclusões

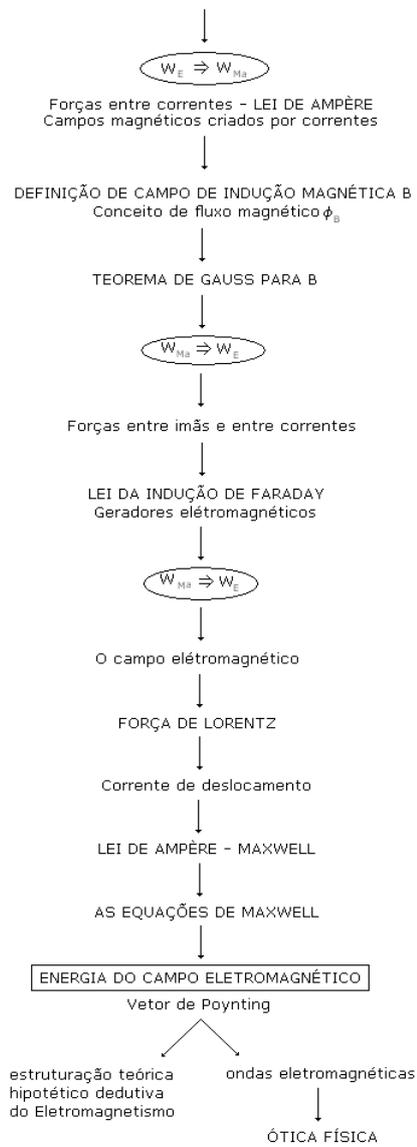
A proposta, em resumo, analisa uma forma de organizar os conteúdos da instrução que busca dar resposta adequada aos problemas que apresentam: a estrutura substancial da disciplina e a estrutura cognitiva dos alunos a fim de obter uma melhor concordância entre os aspectos lógicos e psicológicos da instrução. Propusemos para isso, como linha condutora e organizadora do tema, o Princípio de Conservação da Energia e, como subsunsores fundamentais específicos, os conceitos de corrente e carga elétrica considerando o tema do ponto de vista da eletrodinâmica.

CONSERVAÇÃO DA ENERGIA W
 ENERGIA ELETROMAGNÉTICA W_E
 (Apêndice I)

Observações e demonstrações sobre fenomenologia (Apêndice II)







Efetuamos algumas experiências com esse esquema, propondo-o em dois cursos dirigidos a docentes do ensino médio (1975 e 1986), os quais realizaram a experiência com seus alunos. Também foi feita uma experiência piloto com alunos da Bioquímica. As avaliações qualitativas e subjetivas foram positivas. Os docentes observaram, em geral, um maior interesse e participação dos alunos ao se defrontarem com uma problemática mais ligada às suas experiências cotidianas e às possíveis aplicações práticas. Desse modo, ao chegar o momento de construir os conceitos mais abstratos de campo e potencial elétricos, as dificuldades foram menores.

Devemos dizer, entretanto, que estas observações não são de forma alguma conclusivas. Já estamos efetuando experiências com grupos de controle, através das quais esperamos obter dados mais objetivos, tratando-os estatisticamente.

VI. Referências Bibliográficas

1. AUSUBEL, D. **Psicología evolutiva: un punto de vista cognoscitivo**. Mexico: Trillas, 1976.
2. AUSUBEL, D. Algunos aspectos psicológicos de la estructura del conocimiento. Simposio Phi Delta Kappa. Illinois 1963. Buenos Aires: Ateno, 1973.
3. BARNES, B. R.; CLAWSON, Y. Do advance organizers facilitate learning. **Rev. Educ. Res.**, v. 45, n. 4, 1975.
4. BRUNER, J. S. **O processo da educação**. São Paulo: Nacional, 1968.
5. CUDMANI, L. C.; FONTDEVILA, P. **Concepciones previas en el aprendizaje significativo del eletromagnetismo**. Presentado al Second International Seminar Misconceptions and Educ. Strategies in Science and Mathem. (2º I.S.M.), Cornell University, Jul. 1987.
6. CUDMANI, L. C. **Incidencia de la instrucción sobre los errores conceptuales**. Presentado al Second International Seminar Misconceptions and Educ. Strategies in Science and Mathem. (2º I.S.M.), Cornell University, Jul. 1987.
7. CUDMANI, L. C.; LOZANO, S.; LEWIN, A. M. El problema de aplicación como ejercicio de aprendizaje operativo. **Rev. Bras. Fis.**, São Paulo, v. 11, n. 1, 1981.

8. FEYNMANN, R. **Lectures on physics**. Califórnia: Addison-Wesley, 1963. v. 2.
9. GAGNÉ, R.; BRIGGO, L. J. **Principles of instructional design**. New York: Holt. Rivehart e Winston, 1974.
10. GAGNÉ, R. **Las condiciones del aprendizaje**. Madrid: Aguilar, 1970.
11. GUTIERREZ, R. Psicología y aprendizaje de las ciencias: el modelo de Ausubel. **Revista de Enseñanza de la Física**, Rosario, v. 5, n. 2, 1987.
12. HALBWACHS, F. La física del profesor entre la física del físico y la física del alumno. **Revista de Enseñanza de la Física**, Rosario, v. 1, n. 2, 1985.
13. MOREIRA, M. A. et al. **A aprendizagem: perspectivas teóricas**. Porto Alegre: Ed. da UFRGS, 1983.
14. MOREIRA, M. A. **Uma abordagem cognitivista ao ensino da física**. Porto Alegre: Ed. da Universidade, 1983.
15. NOVAK, J. D., GOWING, D. B. **Learning how to learn**. Cambridge University Press, 1984.
16. NOVAK, J. D. The reception learning paradigm. **J. Res. Sci. Teaching**, v. 16, n. 6, p. 481-488, 1979.
17. PIAGET, J. **Psicología de la inteligencia**. Buenos Aires: Psique, 1973. cap. 2.
18. POSNER, G. J. et al. Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. **Sci. Educ.**, v. 66, n. 2, p. 211-227, 1982.
19. POSNER, G. J.; STRIKES, K. A. A categorization scheme for principles of sequencing content. **Rev. Educ. Res.**, v. 46, n. 4, 1976.
20. ROEDERER, H. G. **Electricidad y magnetismo**. Buenos Aires: U.N.B.A., 1965.
21. SHUELL, T. J. Cognitive psychology and conceptual change: implications for teaching science. **Sci. Educ.**, v. 71, n. 2, 1987.
22. VIERMOT, H. Spontaneous reasoning in elementary dynamics. **Ens. J. Sci. Educ.**, 1979.

Apêndice I – Fontes elétricas e efeitos produzidos pela eletricidade

Montam-se experiências demonstrativas com uma série de elementos simples e do uso cotidiano:

a) uma bateria (ou pilha) conectada a uma lanterna:

$$W_E \rightarrow W_T;$$

b) uma estufa ligada a uma rede de 220V:

$$W_E \rightarrow W_T;$$

c) um pequeno recipiente com dois eletrodos (placas de aço inoxidável) em água acidulada conectado a uma bateria (ou pilha). Observam-se borbulhas:

$$W_E \rightarrow W_Q;$$

d) o mesmo recipiente com um eletrodo de cobre e outro de zinco conectados a lâmpada de uma lanterna:

$$W_Q \rightarrow W_E;$$

e) uma bússola próxima a uma bobina. Observa-se o desvio da agulha quando circula corrente pela bobina:

$$W_E \rightarrow W_{MA} \rightarrow W_{ME};$$

f) duas lâminas condutoras de cobre, muito próximas, que se atraem ou repelem, dependendo de como são conectadas a uma bateria: uma em seguida da outra (em série) ou dois extremos próximos a um borne e os outros dois ao outro (paralelo):

$$W_E \rightarrow W_{MA} \rightarrow W_{ME};$$

g) um ímã debaixo de uma folha de cartolina sobre a qual se polvilha limalhas de ferro. As limalhas se movem até formar um diagrama (linhas de força):

$$W_{MA} \rightarrow W_{ME};$$

h) troca-se o ímã por um eletroímã (um prego de ferro no qual se enrolou um cabo condutor grosso que se liga à bateria):

$$W_E \rightarrow W_{MA} \rightarrow W_{ME};$$

i) atrita-se um pente plástico com um pano e observa-se que atrai pequenos pedaços de papel:

$$W_{ME} \rightarrow W_E \rightarrow W_{ME};$$

j) duas bobinas, uma fixa e outra móvel, são ligadas em série através de escovas condutoras. Se as ligamos ao transformador, a bobina móvel gira:

$$W_E \rightarrow W_{MA} \rightarrow W_{ME};$$

k) o cristal piezoelétrico de um acendedor de fogão (tipo magiclick) quando é comprimido produz uma faísca:

$$W_{ME} \rightarrow W_E.$$

O professor vai explicando qualitativamente o observado e as trocas de energia que se produzem.

Apêndice II

Tanto na rede conceitual como no esquema seqüencial indica-se somente os elementos mais relevantes. Em cada bloco estrutural, os docentes podem incorporar outros conceitos de graus intermediários de generalidade e aplicações mais importantes de acordo com as características do grupo com que se trabalha.

Assim, por exemplo, no bloco em que se considera a transformação de W_{EM} em W_{ME} pode-se incluir os seguintes temas:

- Campo magnético de um condutor retilíneo;
- Campo magnético de um condutor circular;
- Campo magnético de um condutor solenoidal;
- Instrumentos de medida de bobina móvel e quadro móvel;
- Definição do ampère internacional;
- Princípio de funcionamento de motores elétricos;
- Trajetória e partículas em campos: determinação da carga específica do elétron. Aceleradores de partículas.

Quais de todos esses temas convém ou não incluir dependerá da natureza particular do curso.