

FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

A OBRA LITERÁRIA DE RÓMULO DE CARVALHO LIGAÇÃO ÀS METAS CURRICULARES DE FÍSICA E DE QUÍMICA

Ficha Técnica

Tipo de trabalho	Relatório de Estágio
Título	A Obra Literária de Rómulo de Carvalho
Subtítulo	Ligação às Metas Curriculares De Física E De Química
Autor/a	Ângelo Miguel Pessoa Alves
Orientador/a(s)	Décio Ruivo Martins Sérgio Rodrigues
Identificação do Curso	3º Ciclo e Ensino Secundário
Área científica	Física e Química
Especialidade	Mestre em Ensino de Física e Química
Ano	2020



UNIVERSIDADE D
COIMBRA

Agradecimentos

Aos orientadores científicos, Professor Doutor Décio Ruivo Martins e Professor Doutor Sérgio Rodrigues.

À Professora Doutora Emília Azenha que me inculuiu o alento e o ânimo necessários para a inscrição no mestrado.

Ao senhor Nuno, funcionário no Departamento de Física da Universidade de Coimbra, que pôs ao meu dispor todo o material necessário para realizar a experiência de Oersted e as experiências de indução eletromagnética.

Ao meu irmão, Joaquim António Pessoa Alves de Carvalho.

À minha mãe, Eulália de Jesus Pessoa.

Ao meu saudoso pai, António Alves de Carvalho.

O certo é que milhares de homens arribaram
plo mar que de largura tinha cinco luas;
habitavam-no então sereias e endríagos
e muitas pedras-ímanes desvairando as bússolas.

Poema “Fundação Mítica De Buenos Aires”

(Borges, Jorge Luis, 2012)

Sabemos já que a cristalização
Com certas condições tem de contar,
Vindo sempre o cristal, depois dessa operação
Com um formato um pouco irregular

António Gedeão citado pelo filho

(Carvalho, Frederico, 2004)

Resumo:

Nas “*Aprendizagens Essenciais*” e no “*Programa de Física e Química A do 11º ano*”, de 2014, é sugerido, de um modo genérico, ao professor que realize atividades experimentais sobre a experiência de Oersted e a experiência de Faraday, em Física. Estas duas experiências e a lei de Faraday foram decisivas para o desenvolvimento tecnológico do século XIX e XX. Neste relatório encontram-se algumas das atividades experimentais que podem ser levadas a cabo, num contexto de ensino-aprendizagem, usando (e não usando) as novas tecnologias de aquisição e tratamento de dados.

Para nos inteirarmos da abordagem tradicional a estas duas experiências, estudámos a obra científico-pedagógica e os artigos científicos assinados pelo sublime professor, pedagogo, historiador e poeta, Rómulo de Carvalho, e verificámos que ainda são bastante atuais e de grande utilidade para o professor, no domínio da evolução histórica dos conceitos e da pedagogia. Esta abordagem tradicional, à experiência de Oersted e de Faraday, foi, neste relatório, o princípio e o chão para novas abordagens, envolvendo o uso das novas tecnologias de informação e comunicação.

No que diz respeito à Química, o mesmo estudo foi efetuado, mas, agora, generalizado (para o 3.º ciclo do ensino básico geral e o ensino secundário atuais) e tendo em consideração os respetivos programas e metas curriculares. Também aqui a obra de Rómulo de Carvalho revelou-se um auxílio importantíssimo no desenvolvimento curricular, nomeadamente nas reações de oxidação-redução, nas reações fotoquímicas, nas reações endotérmicas e exotérmicas e na cor dos compostos orgânicos.

PALAVRAS-CHAVE: *Aprendizagens Essenciais*, *Programa de Física e Química A do 11º ano*, *Experiência de Oersted*, *Experiência de Faraday*, Rómulo de Carvalho.

Abstract:

On “*Aprendizagens Essenciais*” and in “*Programa de Física e Química A do 11º ano*”, of 2014, it is suggested, generically to the teacher to perform experiments regarding Oersted and Faraday experiments in Physics class. These two experiments and Faradys law were decisive for the technologic development of XIX and XX centuries. On this report there can be found some experiments which are suitable for a teaching context, weather with the use of new technology on data acquisition and treatment or not.

To understand the traditional approach for these experiments, the scientific and pedagogic work and articles of the great professor, pedagogue, historian and poet, was studied. Still it was verified that his work is still very up to date and of great use for the teacher, in an historical evolution perspective of the concepts and pedagogy. This traditional approach of the Oersted and Faraday experiments was for this report the cornerstone for new approaches, including the use of new information technology and communication.

Regarding Chemistry, the same study was made, but in a general perspective (for the 3rd cycle of elementary school and also for high school) but always taking into account the respective curricular programs and goals. Also here the work of Rómulo de Carvalho turned out to be an important support for the curricular development, specifically on the subjects of the oxidation-reduction reactions, photochemical reactions, endothermic and exothermic reactions and the colour of organic compounds.

KEY WORDS: Essential Learning, 11th grade Physics and Chemistry Program, Oersted Experience, Faraday Experience, Rómulo de Carvalho.

Índice

1. Introdução.....	7
2. Breve Biografia de Rómulo de Carvalho.....	9
3. Rómulo de Carvalho e a Pedagogia.....	12
4. A Importância da História da Ciência no Ensino da Química e da Física.....	15
4.1 A Hipótese de Avogadro.....	16
4.2 Reações Fotoquímicas.....	25
4.3 Marcos Importantes na História da Indução Eletromagnética	31
5. História da Experiência de Oersted e de Faraday em Rómulo de Carvalho.....	66
6. A Química e a Física no Dia-A-Dia.....	77
6.1 Eletrólise de uma Solução Diluída de Ácido Acético e de uma Solução Diluída de Cloreto de Sódio.....	78
6.2 Ebulição e Vaporização da Água.....	93
6.3 Abordagem às Experiências de Oersted e Faraday.....	97
6.4 Osciloscópio de Raios Catódicos.....	102
7. Novas Abordagens das Experiências de Oersted e Faraday Previstas nas Aprendizagens Essenciais do 11.ºAno de Escolaridade de Física e Química A.....	109
8. Resolução de Problemas em Química e Física.....	113
9. Conceções Alternativas em Química e no Domínio do Eletromagnetismo.....	119
10. Cadernos de Iniciação Científica.....	129
10.1 Reação Catalítica de Decomposição do Peróxido de Hidrogénio.....	135
10.2 Reação Química Endotérmica.....	139
10.3 Explicação das Correntes numa Eletrólise.....	143
11. Regras para Determinar o Sentido do Campo Magnético na Experiência de Oersted e da Corrente Induzida na Experiência de Faraday.....	146
12. A Ciência Hermética.....	151
12.1 Oxidação da prata e verdetes.....	152
12.2 Reciclagem do Cobre.....	156
13. Aplicações da Indução Eletromagnética.....	163
14. O Embalsamento Egípcio.....	172
14.1 Decomposição térmica do carbonato de sódio.....	174
15. Poesia.....	176

15.1 Propriedades Químicas do Cálcio e do Magnésio.....	177
15.2 Cor de um Composto Orgânico.....	179
15.3 Jardins Químicos: Nucleação e Crescimento de Cristais.....	197
16. Trabalhos Práticos de Química.....	205
16.1 Preparação de uma Solução de Cloreto de Hidrogénio em Água e Verificação do seu Caráter Eletrolítico.....	207
16.2 Determinação Experimental do Número de Moléculas de Água de Cristalização de um Sal de Cloreto de Bário Hidratado.....	213
17. Planificação de Atividades Pedagógicas sobre a Experiência de Oersted e a Experiência de Faraday.....	217
18. Atividades Laboratoriais sobre a Experiência de Oersted e a Experiência de Faraday.....	242
18.1 Atividade Laboratorial 1: A Experiência de Oersted.....	242
18.2 Atividade Laboratorial 2 – A Lei de Faraday (com Recurso a uma Bobina, um Galvanómetro e um Íman em Barra).....	250
18.3 Atividade Laboratorial 3 – A Lei de Faraday (com Recurso a um Gerador Eletromagnético de Faraday e a um Anel de muitas Espiras).....	256
18.4 Atividade Laboratorial 4 – A Lei de Faraday (com Recurso a um Osciloscópio de Raios Catódicos).....	262
18.5 Atividade Laboratorial 5 – A Lei de Faraday (com Recurso ao Programa <i>DataStudio</i> da <i>PASCO</i>).....	271
18.6 Atividade Laboratorial 6 – Correntes de Redemoinho (<i>Eddy Currents</i>) ou Correntes de Foucault.....	282
19. Conclusão.....	295
20. Bibliografia.....	297

1. Introdução

Carlos Fiolhais, em “*Curiosidade Apaixonada*”, referindo-se aos livros de divulgação científica, escreve que Rómulo de Carvalho *fez divulgação científica – e da melhor!*, usando uma linguagem *sugestiva e motivadora*; que a *ciência é uma construção humana e aprende-se melhor se se conhecer o modo como ela se desenvolve*; e que os livros *assentam no primado da observação e da experiência*; já os manuais escolares (nomeadamente o manual “*Ciências da Natureza*”) despertam em quem os lê *a indagação e a curiosidade* (Fiolhais, Carlos, 2015). Também Nuno Crato, seu aluno no Liceu Normal Pedro Nunes, no prefácio do livro “*Rómulo de Carvalho Ser Professor*”, realça não só o valor dos seus escritos didático-pedagógicos como também a urgência de se reeditarem: *Os que leram e estudaram os seus textos sobre pedagogia e didática conhecem a sua importância e sabem que é necessário reeditar muitos deles (...)* (Crato, Nuno, 2006). Já Alcina do Aido e Maria Gertrudes, antigas estagiárias orientadas por Rómulo de Carvalho, destacam a sua meticulosidade e rigor na realização de uma atividade experimental em laboratório, onde a executava *com o maior cuidado, testando todo o material até ao último pormenor (...)*, e o enquadramento das descobertas científicas no ambiente sócio, artístico e cultural da época, como a apresentação de alguns trechos da vida dos cientistas (Fiolhais, Carlos *et al*, 2008).

Por estas razões, resolvemos investigar como nos livros de Rómulo de Carvalho (de divulgação científica, história da ciência, manuais escolares, entre outros) eram abordadas a experiência de Oersted e a experiência de Faraday, para, depois (e de modo crítico), enquadrar os seus ensinamentos nas abordagens destas experiências ao nível do 11.º Ano de escolaridade de Física. Já, no que se refere à Química, optámos por recolher informação (experiências, passagens históricas, poemas), suscetível de ser tratada ao nível didático-pedagógico, que se enquadrasse nos programas e metas curriculares do 3.º ciclo do ensino básico geral e do ensino secundário atuais.

Na abordagem dos conceitos científicos, vamos procurar partir, para o 10.º e 11.º Ano, de casos da *vida quotidiana, avanços recentes da ciência e da tecnologia, contextos culturais onde a ciência se insira, episódios da história da ciência e outras situações socialmente relevantes*, conforme o *Programa de Física e Química A do 10º e 11º Anos* (Fiolhais, Carlos & Isabel Festas & Helena Damião & António José Ferreira & Fernanda Braguez & Maria Goreti Matos & Sérgio Rodrigues & Carlos Portela & Graça Ventura & Rogério Nogueira, 2014).

De acordo com as “*Aprendizagens Essenciais*” para o 11.º Ano de escolaridade de Física e Química A e no que se refere aos conhecimentos, atitudes e valores, o aluno deve ser capaz de *investigar os contributos dos trabalhos de Oersted e Faraday (...), para o eletromagnetismo, analisando o seu papel na construção do conhecimento, e comunicando as conclusões. As metodologias a desenvolver (Ações Estratégicas de Ensino Orientadas para o Perfil dos Alunos), devem envolver o aluno em tarefas de planificação, de implementação, de controlo e de revisão, designadamente nas atividades experimentais, e o registo seletivo e a organização da informação (por exemplo, (...) registos de observações, relatórios de atividades laboratoriais (...), segundo critérios e objetivos), em modalidades diversas para expressar as aprendizagens (por exemplo, relatórios, esquemas, textos, maquetes), recorrendo às TIC, quando pertinente, em problematizar situações sobre as aplicações da ciência e tecnologia e o seu impacto no ambiente e na sociedade, e em realizar trabalho colaborativo em diferentes situações (projetos interdisciplinares, resolução de problemas e atividades experimentais)* (República Portuguesa, Educação, 2018). Também no “*Programa de Física e Química A*”, do 11.º Ano de escolaridade, recomenda-se a realização de atividades experimentais que envolvam o fenómeno da indução eletromagnética e a lei de Faraday, *exemplificando os modos de variar o fluxo do campo magnético que atravessa uma superfície plana delimitada por um circuito, assim como a abordagem às aplicações da indução eletromagnética, desde os transformadores às lanternas que funcionam com base na indução eletromagnética, placas de indução e fornos de indução* (Fiolhais, Carlos & Isabel Festas & Helena Damião & António José Ferreira & Fernanda Braguez & Maria Goreti Matos & Sérgio Rodrigues & Carlos Portela & Graça Ventura & Rogério Nogueira, 2014).

Assim, depois de investigarmos como as experiências de Oersted e Faraday eram abordadas por Rómulo de Carvalho, pretendemos levar a cabo atividades experimentais que envolvam as experiências referidas anteriormente, usando as novas tecnologias (como a máquina de calcular da *Texas Instruments* e o equipamento da *PASCO*) e explorando as aplicações da lei de Faraday. É de salientar que, nas últimas décadas, tem-se recorrido às tecnologias computacionais na assistência de atividades experimentais em laboratórios didáticos (Cavalcante, M. A. & Tavolaro, 2004), e, mais recentemente, a dispositivos móveis, como o *smartphone* (Kuhn, J. & Vogt, P., 2013).

2. Breve Biografia de Rómulo de Carvalho

Rómulo Vasco da Gama de Carvalho (fig.1) nasceu na freguesia da Sé, em Lisboa, a 24 de novembro de 1906, na rua do Arco do Limoeiro (hoje, rua Augusto Rosa) e faleceu, na mesma cidade, a 19 de fevereiro de 1997. O seu pai, José Avelino da Gama de Carvalho, foi funcionário nos correios e telégrafos e escrevia poemas, e sua mãe, Rosa das Dores Oliveira Gama de Carvalho, uma dona de casa apaixonada pela literatura (lia Eça de Queirós, Camilo Castelo Branco, João de Deus e “*As Mil e Uma Noites*”) (Carvalho, Cristina de, 2012). Eram, ambos, algarvios.

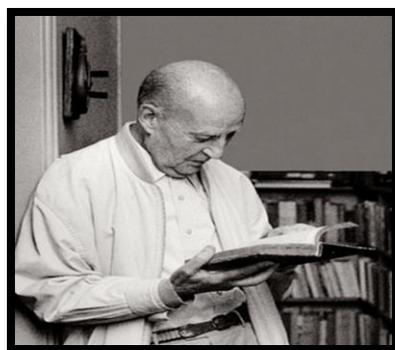


Figura 1: Rómulo de Carvalho.

(Fonte: <https://www.cnc.pt/de-19-a-25-de-marco-de-2018/>)

Personagem multifacetada, Rómulo de Carvalho destacou-se como professor de Química e Física, pedagogo, cientista, historiador da ciência e poeta. Desde muito cedo e graças à paixão da mãe, teve o privilégio de contactar com o melhor da literatura portuguesa, lendo os romancistas, Eça de Queirós e Camilo Castelo Branco, e o poeta Cesário Verde. De acordo com a sua filha, começou a escrever poesia precocemente (aos cinco anos!) (Carvalho, Cristina de, 2012). Muitos dos seus poemas foram inspirados nas Ciências Físico-Químicas, como *Poema para Galileo*, *Poema do Coração*, *Máquina do Mundo*, *Lei da Constância dos Ângulos*, *Catedral de Burgos*, *Lágrima de Preta* e *Lição sobre a Água*. Apesar de se apaixonar pela literatura, considerava, como o grande dramaturgo russo e médico, Anton Tchekhov, que a literatura era, em termos financeiros, insuficiente para se singrar na vida.

Rómulo de Carvalho entrou, em 1912, para o colégio de Santa Maria, em Lisboa. De 1917 a 1925/26 estudou no Liceu Gil Vicente. Depois de concluir o liceu Gil Vicente, optou pelas Ciências Físico-Químicas e ingressou, em 1928, na Faculdade de Ciências da Universidade do

Porto, onde acabaria por se formar em Ciências Físico-Químicas, em 1931. Depois, estagiou dois anos no Liceu Normal Pedro Nunes, na capital. Como professor agregado, lecionou Físico-Química, durante quatorze anos (1934-1948), no liceu Camões, em Lisboa, regressando de 1948 a 1950 ao Liceu Normal Pedro Nunes. O liceu Dom João III, em Coimbra, foi o seu próximo destino, lecionando aí durante alguns anos. Por fim, foi convidado, para lecionar Ciências Físico-Químicas no liceu Normal Pedro Nunes (fig.2), também em Lisboa, sendo, aí, professor Metodólogo de 1958 até 1974 (Carvalho, Cristina de, 2012).

Já com idade avançada, começou a publicar livros de divulgação científica e de história da ciência. Antes, em 1956, tinha publicado o livro de poesia, *Movimento Perpétuo*, sob o pseudónimo de António Gedeão, que foi bem acolhido pelos críticos literários.

Apaixonado pelo ensino e comunicador exímio de ciência, lecionou durante quarenta e três anos, e, em 1974, ano da revolução dos cravos, reformou-se, amargurado com o destino do país e o estado em que o ensino se encontrava.

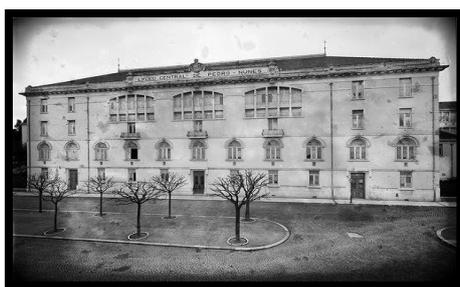


Figura 2: Liceu Normal Pedro Nunes.

(Fonte:<https://www.facebook.com/pg/Antigos-Alunos-do-Liceu-de-Pedro-Nunes-277135828356/posts/>)

Do primeiro matrimónio, com Maria José, teve um filho, Frederico Gama de Carvalho, doutorado em Engenharia Nuclear pela Universidade de Karlsruhe e especialista em Física de neutrões de baixa energia, e, do segundo, com a escritora Natália Nunes, uma filha, também escritora, Cristina de Carvalho.

A sua obra literária é imensa e alberga livros de divulgação científica, história da ciência, pedagogia, poesia e compêndios escolares. Destacamos, assim: *A Ciência Hermética*, Biblioteca Cosmos, 1947; *O Embalsamamento Egípcio*, Biblioteca Cosmos, 1948; *Compêndio de Química para o 3º Ciclo*, Livraria Studium, 1950; *Guia de Trabalhos Práticos de Química para o 3º Ciclo dos Liceus*, Livraria Studium, 1950; *História do Telefone*, Atlântida, 1952;

História da Fotografia, Atlântida, 1952; *Problemas de Física para o 3.º Ciclo do Ensino Liceal*, vols I e II, Atlântida, 1953; *História dos Balões*, Atlântida, 1953; *História da Eletricidade Estática*, Atlântida, 1954; *História do Átomo*, Atlântida, 1955; *Movimento Perpétuo*, Atlântida, 1956; *História da Radioatividade*, Atlântida, 1957; *Que é a Física?*, Arcádia, 1959; *Máquina de fogo*, Atlântida, 1961; *História da Energia Nuclear*, Atlântida, 1962; *História dos Isótopos*, Atlântida, 1962; *Física para o Povo*, vols I e II, Atlântida, 1968; e os *Cadernos de Iniciação Científica*, Relógio D'Água, 1996.

O mestre, para quem igualmente interessavam as Letras e as Ciências e em qualquer desses setores ensinaria com prazer, como escreveu nas suas “*Memórias*” (Carvalho, Frederico, 2010), publicou, em 1967, o livro de poesia “*Linhas de Força*”.

3. Rómulo de Carvalho e a Pedagogia

Rómulo de Carvalho publicou muitos artigos de pedagogia e didática na *Gazeta de Física*, editada pela Sociedade Portuguesa de Física, e na *Palestra*, editada pelo Liceu Normal Pedro Nunes. Sobre os textos de reflexão pedagógica, Nuno Crato, antigo aluno de Rómulo de Carvalho no Liceu Normal Pedro Nunes e organizador de uma antologia de textos didático-pedagógicos do mestre, intitulada “*Rómulo de Carvalho Ser Professor*” (fig.3), diz-nos que *mantêm um imenso valor e uma grande atualidade, e que neles há rigor, mas acompanhado do desenvolvimento da intuição; há objetivos pedagógicos exigentes, mas também a preocupação de despertar o interesse dos alunos; há a experimentação, mas com a consciência das suas limitações; há o destaque da compreensão teórica, mas também a tentativa de ligar a escola à vida* (Crato, Nuno, 2006).

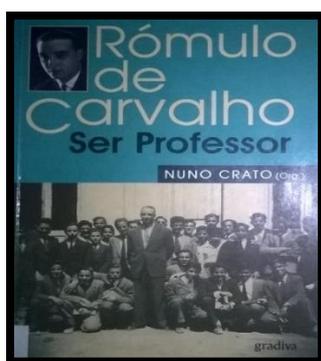


Figura 3: Capa do livro “*Rómulo de Carvalho Ser Professor*”.

(Fonte: Crato, Nuno, 2006)

Em o artigo, *Acerca dos trabalhos práticos de Física nos liceus*, publicado na *Gazeta de Física*, Rómulo de Carvalho, refletindo sobre a teleologia das atividades práticas, conclui que devem ter, essencialmente, utilidade, no que respeita à dimensão formativa (Crato, Nuno, 2006). Não se trata aqui da utilidade que possam ter no dia-a-dia, mas da forma como vão contribuir para a formação do caráter do discente. Por exemplo, quando um aluno realiza uma medição deve fazê-la com minúcia, rigor, ponderação e equilíbrio; ora, no porvir, o aluno poderá não ter necessidade de realizar uma medição, mas deve manter, perante a vida, a mesma atitude. Neste artigo, Rómulo de Carvalho também nos fala da necessidade de as escolas estarem apetrechadas com material laboratorial e didático e de, durante a realização das atividades práticas, o

professor dividir os seus alunos em pequenos grupos (mais pequenos quanto possíveis!) de modo a que o aluno não seja extraviado da sua concentração.

Já no artigo, *Considerações sobre o ensino elementar da física*, também publicado na *Gazeta de Física*, Rómulo de Carvalho escreve sobre como o aluno deve usar as expressões matemáticas e sobre a utilidade destas numa situação de ensino-aprendizagem. É necessário, para além de associar valores (numéricos, escalares ou vetoriais) e respetivas unidades a grandezas físicas, conhecer o significado das constantes físicas (Crato, Nuno, 2006). Só este conhecimento permite que o aluno raciocine. Se tiver de calcular o valor da resistência elétrica (R) de um fio condutor, conhecida a diferença de potencial (ΔV) a que as suas extremidades estão sujeitas (medida num voltímetro ligado às extremidades do material condutor) e a intensidade da corrente elétrica (I) que o atravessa (medida num amperímetro ligado em série ao circuito), não basta substituir os valores na lei de Ohm ($R = \Delta V/I$), é preciso saber que um material condutor é constituído por uma rede de iões positivos e por eletrões livres responsáveis pela condução, que, se as suas extremidades estiverem ligadas a um gerador, os eletrões livres passam a ter um movimento orientado, que cada material condutor tem uma resistência ao movimento dos portadores de carga, quando atravessado por uma corrente elétrica, e que essa resistência se traduz numa propriedade do material condutor que se designa por resistência elétrica, que o valor da resistência depende da natureza do material, isto é, da sua resistividade elétrica, do comprimento do material condutor e da sua área de seção, que a intensidade da corrente elétrica corresponde à quantidade de carga que atravessa uma seção reta do material condutor por unidade de tempo, que se convencionou atribuir ao sentido da corrente o sentido do movimento das cargas positivas e que um gerador de corrente contínua cria uma diferença de potencial constante nas extremidades do material condutor.

Em um outro artigo sublime e de grande utilidade para um professor estagiário, *A Física como objeto de ensino*, publicado na *Palestra*, Rómulo de Carvalho centra-se no significado de metodologia de ensino ou de desenvolvimento curricular. Ao professor exige-se que saiba o que vai ensinar (conteúdos), a quem vai ensinar (alunos num determinado nível de escolaridade), para que vai ensinar (objetivos) e como ensinar (metodologia de ensino) (Crato, Nuno, 2006). Método, processo, forma e modo, são substantivos usados comumente para designar uma maneira de realizar uma determinada tarefa (Crato, Nuno, 2006). Rómulo de Carvalho, neste artigo começa por os diferenciar. O método usado pelo professor, durante a sua atuação pedagógica, tanto pode ser o método dedutivo como o método indutivo; se no primeiro o professor começa por transmitir uma noção geral para depois a aplicar a casos particulares,

no segundo começa por casos particulares para ir no sentido da generalização. O processo é o que efetiva o método, e tanto pode ser verbal (envolve transmissão oral), como verbal ilustrado (envolve transmissão oral e uso de objetos pedagógicos), como experimental (envolve experiências prático-laboratoriais). Para tomar uma decisão de como realizar o processo, isto é, no que respeita à forma, há dois caminhos a seguir pelo professor: a forma ativa (com a participação dos alunos) e a forma passiva (sem a participação dos alunos). Finalmente, no caso de o professor optar pela forma ativa, tem dois modos de atuação: o modo heurístico e o modo sócrático; no primeiro, o aluno está no ambiente do cientista que fez a descoberta, perante as suas dúvidas e colocando hipóteses, enquanto no segundo o professor serve-se da interpolação sagaz, como Sócrates o fazia para pôr os seus pupilos a raciocinar. Apesar de Rómulo de Carvalho não descartar nenhuma metodologia de ensino da Física, privilegia, quando for possível, a que corresponde a um método indutivo, a um processo experimental e a uma forma ativa. Em artigos como “*O estudo experimental do Teorema de Arquimedes*”, publicado na *Gazeta de Física* e “*A experiência da gota de óleo*”, publicado em Boletim do Ensino Secundário, Rómulo de Carvalho apresenta-nos os objetivos a atingir pelo aluno para cada atividade experimental e os passos do respetivo processo que se devem executar (Crato, Nuno, 2006). No primeiro artigo, refere-se até ao tempo necessário para a execução experimental e, aqui e ali, ao modo de atuação.

Os artigos pedagógicos de Rómulo de Carvalho apresentam uma atualidade desconcertante, de modo que se pode compará-lo a grandes pedagogos, como Maria Montessori, cujos métodos de ensino ainda resistem à marcha inexorável do tempo.

4. A Importância da História da Ciência no Ensino da Química e da Física

No âmbito da minha atividade docente dedicava-me a dois vastos ramos da Ciência: a Física e a Química. Embora desse a ambos igual atenção sentia, no início da minha carreira, desde os bancos da Universidade, um gosto particular em explorar a história da Química, em descobrir os pormenores dos seus progressos ao longo dos séculos.

Rómulo de Carvalho

(Carvalho, Frederico, 2010)

Segundo Sebastião Formosinho, *um ensino baseado na perspetiva histórica da evolução das ideias e conceitos parece-nos uma estratégia metodológica a desenvolver, não só porque tem em conta as ideias velhas como a sua evolução* (Formosinho, Sebastião, 1987). Este químico realça a importância da história da ciência e da evolução epistemológica, tendo como base os conceitos e sua modificação de significado, no ensino da química. Por exemplo, o conceito de elemento modificou-se desde Empédocles (que considerava existir quatro elementos: terra, ar, fogo e água) até Lavoisier (que interpretava um elemento como uma substância que não podia dividir-se por quaisquer meios conhecidos em algo mais simples). A definição de Lavoisier, por sua vez, ainda foi melhorada: elemento é uma substância que não pode ser separada em substâncias mais simples com propriedades distintas da substância original.

Nos livros didáticos, a história da ciência surge-nos, frequentemente, reduzida a episódios históricos que são apresentados por ilustrações, lista de descobertas e datas escolhidas para o cientista, enquanto os conteúdos científicos são apresentados sem o seu processo de desenvolvimento. Este facto implica que o estudante pense a ciência como feita apenas de episódios miríficos, de descobertas científicas e de datas específicas. Tudo isto contribui para uma descontextualização da instrução e para a falta de compreensão da natureza da ciência (Fernandes, Maria & Paulo Porto, 2012).

A história da ciência, apresentada de forma motivante, ajuda os estudantes a compreenderem melhor os conceitos e a sua evolução, assim como humaniza os conteúdos (Matthews, M., 1995). A evolução dos modelos atómicos, desde Demócrito, passando por John Dalton, J. J.

Thomson, Ernst Rutherford e Niels Bohr, até Schrödinger, corrobora esta visão. Os estudantes podem, assim, refletir sobre o potencial e as limitações de cada um dos modelos, assim como aprender acerca da ciência e do pensamento dos cientistas, numa dada época (Eilks, Ingo & Avi Hofstein, 2013). Os diferentes modelos da química de oxidação-redução e de ácido-base podem, também, ser usados na sala-de-aula.

Nos livros de Rómulo de Carvalho (*História do Telefone, História da Fotografia, História dos Balões, História da Eletricidade Estática, História do Átomo, História do Sangue, História da Radioatividade, História dos Isótopos e História da Energia Nuclear*), editados pela Atlântida, na coleção “Ciência Para Gente Nova”, acompanhamos a evolução das ideias e dos conceitos e compreendemos como se faz ciência, através de programas de investigação (como a fez Marie Curie e Pierre Curie). É a comunidade científica que faz a ciência que, por sua vez, é um processo de transformação das ideias científicas. Aqui, uma ideia leva a outra, e, amiúde, a sucessão de ideias está associada a debates e controvérsias. Resumindo, o ensino-aprendizagem das Ciências Físico-Químicas, e da Física em particular, deve ter em consideração a história das mesmas: *learning of physics needs to be accompanied by learning about its history* (Michelsen, Claus, 2017).

4.1 A Hipótese de Avogadro

Em a “*História do Átomo*” e a “*História da Fotografia*”, as imagens (esquemas, fotografias, representações, figuras), os programas de investigação levados a cabo pelos cientistas, os artigos escritos e as comunicações dos mesmos, e a explicação dos fatos científicos, desempenham um papel assaz importante na compreensão da ciência e do seu desenvolvimento. Podemos perfeitamente socorrer-nos da “*História do Átomo*” (fig.4), no 10.º Ano de escolaridade, para o ensino da hipótese de Avogadro, acompanhando a evolução do conceito de átomo ao de molécula, desde Robert Boyle (primeira prova experimental da existência de átomos, em 1661), John Dalton (hipótese atômica, 1802-1803), Gay-Lussac (lei das combinações gasosas, em 1808), a Amedeo Avogadro (hipótese de Avogadro, em 1811).



Figura 4: Capa do livro “História do Átomo”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

Começando por Robert Boyle, podemos usar os esquemas de um embolo em três fases distintas, contendo uma substância gasosa, que é pressionada, para demonstrar que só admitindo que o gás é formado por partículas que chocam contra as paredes do recipiente é que se entende que, ao reduzir-se o volume, a pressão do gás aumente. O número de choques, por unidade de tempo e área, nas paredes interiores do recipiente aumenta. Aqui, com auxílio de uma imagem com uma coluna de mercúrio (fig.5), podemos mostrar como Robert Boyle deduziu experimentalmente a lei com o seu nome: a pressão de uma determinada quantidade química de gás a temperatura constante é inversamente proporcional ao volume.

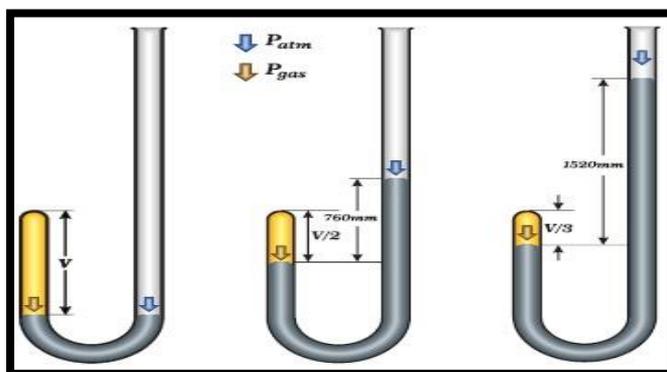
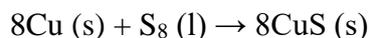


Figura 5: Relação entre pressão e volume de um gás. Se a pressão do gás aumenta para o dobro o volume diminui para metade.

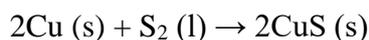
(Fonte: https://www.brainkart.com/article/Boyle---s-Law--Pressure-Volume-Relationship_34753/)

Na abordagem à hipótese atômica de Dalton, podemos seguir Rómulo de Carvalho e começar pela transformação química do enxofre pulverizado aquecido com cobre metálico pulverizado num recipiente, verificando se há reagentes em excesso (tabela1) (Carvalho, Rómulo de, 1955).

Para temperaturas um pouco acima de 113°C, quando o enxofre é um líquido amarelo-palha, a reação é a seguinte:



Para temperaturas muito altas, quando o enxofre é um líquido vermelho-acastanhado, a reação é a seguinte:



Experiência	Massa de Cu (g)	Quantidade química de Cu (mol)	Massa de S ₈ (g)	Quantidade química de S ₈ (mol)
1	10,00	0,157	5,03	0,0196
2	15,00	0,236	5,03	0,0196
3	10,00	0,157	10,06	0,0392

Tabela1: Massas dos reagentes, cobre e enxofre.

Na primeira reação (a que nos interessa), por ação do calor, forma-se o sulfureto de cobre que é um sólido negro (Carvalho, Rómulo de, 1955). Numa primeira fase o enxofre funde e só depois reage com o cobre. Podemos realizar esta atividade experimental, em sala de aula, com o objetivo de os alunos compreenderem que o aquecimento provoca uma combinação dos átomos de cada um dos reagentes (um ião sulfureto combina-se sempre com um ião cúprico). A formação de uma nova substância, sulfureto de cobre, só se compreende considerando que a matéria é formada por átomos, que houve um rearranjo dos átomos dos reagentes.

Depois, Gay-Lussac, ao fazer reagir um determinado volume de hidrogénio gasoso com oxigénio gasoso, obteve vapor de água e mediu-o. O químico francês verificou que 100 volumes de oxigénio reagiam com 200 volumes de hidrogénio, isto é, os dois gases reagiam na proporção de 1 para 2 (fig.6).

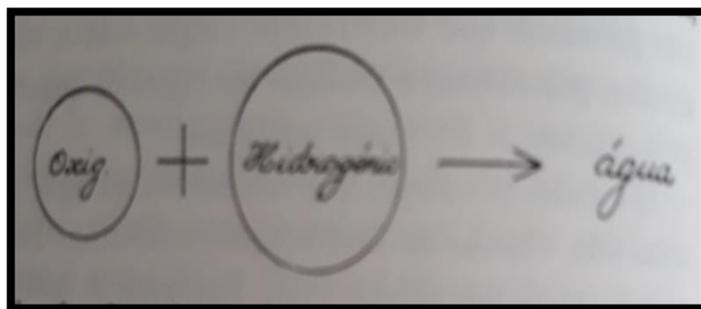


Figura 6: Gay-Lussac verificou experimentalmente, ao estudar a composição da água, que um volume de oxigénio se combina, sempre, com um volume de hidrogénio que é duplo do seu.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

Agora, também, os volumes dos elementos gasosos se combinam em proporções simples. Na altura, ainda não se sabia que o hidrogénio e o oxigénio eram moléculas. Dalton, que considerava que a combinação era de um “átomo” de hidrogénio para um “átomo” de oxigénio (uma combinação simples, por se tratarem de átomos), não concordava com Gay-Lussac, porque, considerando que ambos estavam corretos, o volume dos dois gases tinha de conter o mesmo número de “átomos” (reagindo na proporção de 1 para 1) (fig.7) (Carvalho, Rómulo de, 1955).

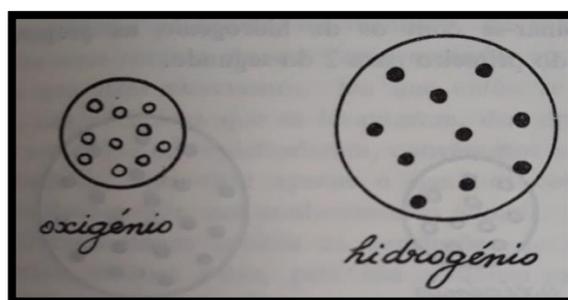


Figura 7: Ideia de Dalton a respeito da maneira como os “átomos” de oxigénio e de hidrogénio se combinam para formarem a água. Dalton entendia (erroneamente) que os “átomos” de oxigénio se combinavam com os de hidrogénio na proporção de 1 para 1. Se assim fosse, o volume de hidrogénio, que é duplo, conteria o mesmo número de “átomos” que o de oxigénio.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

Mas, a ser assim, a pressão exercida pelo hidrogénio no seu volume seria metade da pressão do oxigénio no seu volume. No entanto, como as observações de Gay-Lussac foram efetuadas para a reação à mesma pressão e temperatura, isto implicava que o volume de hidrogénio, por ser

duplo, deveria conter o dobro dos “átomos” do de oxigénio (fig.8) e a combinação teria de ser de um “átomo” de oxigénio para dois de hidrogénio (Carvalho, Rómulo de, 1955).

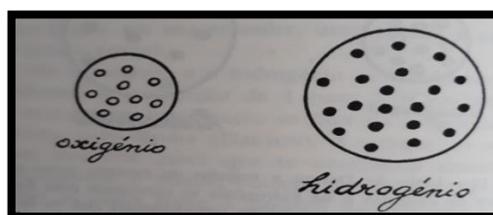


Figura 8: Segundo Gay-Lussac (compare-se com a figura anterior) o volume de hidrogénio, duplo do volume de oxigénio, deve conter, pelo facto de ser duplo, o dobro do número de “átomos”. Gay Lussac tinha razão. Dalton, não.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

Para John Dalton estar correto, o hidrogénio e o oxigénio deveriam combinar-se em volumes iguais. Já para Gay-Lussac estar correto, os “átomos” de hidrogénio deveriam reagir com os de oxigénio na proporção de dois para um. Como a opinião do químico francês assentava na experiência, deveria ser a tomada como estando correta. Todavia, as medições volumétricas de Gay-Lussac não se restringiram ao oxigénio e ao hidrogénio: mediu igualmente o vapor de água formado (a reação ocorre a temperatura elevadíssimas), chegando à conclusão que era igual ao de hidrogénio e o dobro do volume de oxigénio (fig.9) (Carvalho, Rómulo de, 1955).

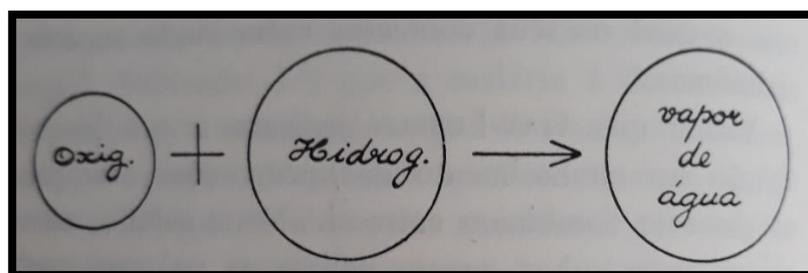


Figura 9: Segundo Gay-Lussac descobriu, quando o oxigénio e o hidrogénio se combinam entre si, fazem-no na proporção de um para dois, em volume. O volume do de vapor de água que resulta dessa combinação é igual ao volume de hidrogénio que se combinou.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

Porque a soma do volume dos reagentes (o oxigénio e o hidrogénio) é inferior à do volume do produto (a água)? Devido à contração do volume dos reagentes ao combinarem-se. Ao nível

microscópico, poderíamos dizer que um «átomo» de oxigénio reagiria com dois «átomos» de hidrogénio formando-se uma molécula de água (fig.10). Gay-Lussac chegou a esta conclusão.

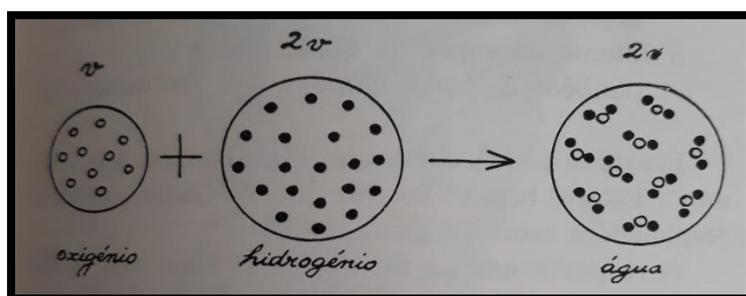


Figura 10: Segundo Gay-Lussac o oxigénio e o hidrogénio deviam combinar-se de acordo com este esquema: cada “átomo” de oxigénio reunia-se a dois de hidrogénio e formava uma molécula de água.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

Dalton continuava a não concordar com Gay-Lussac, porque, de acordo com o raciocínio do químico francês, se o volume de vapor de água formado for igual ao de hidrogénio então o número de «átomos» de água que se obtém terá de ser igual ao número de “átomos” de hidrogénio (Carvalho, Rómulo de, 1955). Neste momento, Gay-Lussac não sabia como ripostar a Dalton, embora, tal e qual como este, julgasse que estaria correto.

O físico italiano, Amedeo Avogadro, elucidou o que estava a acontecer. Intuitivamente, encontrou uma solução para o problema e declarou que Gay-Lussac era quem estava correto. Podemos ler em a *História do Átomo*:

Gay-Lussac tem razão – afirma AVOGADRO – quando declara que o volume de hidrogénio que se combina para formar água tem o dobro do número de átomos que se contém no respetivo volume do oxigénio, visto o volume deste ser metade do outro. Nisso tem razão. Um volume qualquer, desde que seja duplo do outro, deve conter o dobro do número de átomos que este contém (supondo que estão ambos à mesma pressão e temperatura). Só os volumes iguais conterão igual número de átomos, quer sejam de hidrogénio, de oxigénio, de azoto, de cloro, ou sejam do que for (Carvalho, Rómulo de, 1955).

Para Avogadro, era também necessário, para o hidrogénio e o oxigénio à mesma pressão e temperatura, que o número de “átomos” de hidrogénio fosse duplo do número de “átomos” de oxigénio, porque o volume do primeiro é o dobro do segundo. No entanto, como o volume de vapor de água e o de hidrogénio são iguais, o número de “átomos” de água não poderia ser

metade do número de “átomos” de hidrogénio! Segundo Avogadro, o problema residia na contagem dos “átomos” (Carvalho, Rómulo de, 1955).

Mas – pergunta AVOGADRO – querem que os números sejam iguais? É fácil. Não contem os átomos de hidrogénio um a um; contem-nos aos pares! Assim já temos números iguais em volumes iguais: por um lado, em vez de 20 átomos de hidrogénio, teremos 10 «pares de átomos» de hidrogénio; por outro lado, teremos 10 «átomos de água». O mesmo número:10!

O melhor, porém, para evitar confusões de linguagem – continuamos a expor o pensamento de AVOGADRO – é usarmos outras palavras. Não digamos «átomos de água»; digamos «moléculas de água». Não digamos também «pares de átomos de hidrogénio»; digamos «moléculas de hidrogénio». É uma maneira de dizer. Uma molécula de hidrogénio será um par de átomos de hidrogénio (Carvalho, Rómulo de, 1955).

Estas ideias de Avogadro estão representadas na figura 11. Assim, se o volume de oxigénio contivesse cinco moléculas, o de hidrogénio conteria dez moléculas e o de vapor de água também dez moléculas de água, e, deste modo, nada havia a objetar.

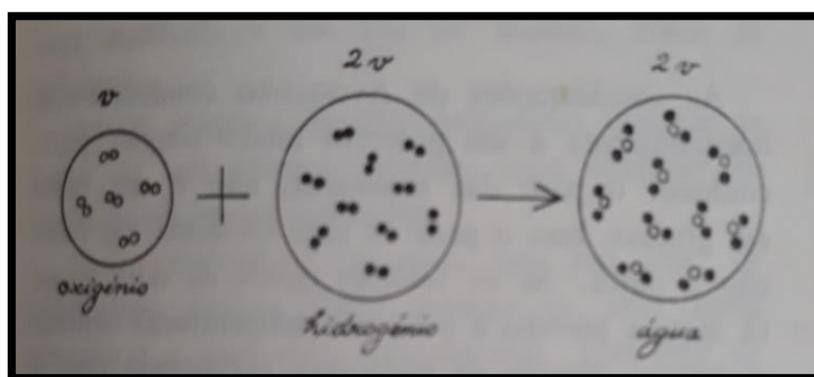


Figura 11: Foi deste modo que Avogadro entendeu que o oxigénio e o hidrogénio se combinavam para formar água. Os átomos de oxigénio e de hidrogénio não se encontram livres, mas reunidos aos pares.

Aqui, cinco moléculas de oxigénio combinam-se com dez moléculas de hidrogénio e formam dez moléculas de água. Assim, os volumes iguais contêm o mesmo número de moléculas (Hipótese de Avogadro).

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

O próximo passo de Avogadro foi deduzir um processo para obter o peso relativo das moléculas, relacionando o número de moléculas, o volume ocupado por elas e o seu peso. Se os volumes de dois gases, à mesma pressão e temperatura, contêm o mesmo número de moléculas, então o peso de uma molécula de um gás será tantas vezes maior do que o peso de uma molécula do outro quantas vezes o volume do primeiro for mais pesado do que o do segundo. Assim, pesando o volume de hidrogénio e o de vapor de água formado e considerando que contêm o mesmo número de moléculas, podemos concluir que uma molécula de água pesa nove vezes mais do que uma molécula de hidrogénio (Carvalho, Rómulo de, 1955).

Podemos efetuar o mesmo raciocínio considerando o peso de um litro de hidrogénio e de um litro de oxigénio, à mesma pressão e temperatura (fig. 12), para concluirmos que uma molécula de oxigénio é 16 vezes mais pesada do que uma molécula de hidrogénio (e que um átomo de oxigénio também pesa 16 vezes mais do que um átomo de hidrogénio, porque ambas as moléculas são constituídas por dois átomos). Se considerarmos o peso atómico do hidrogénio igual a 1, o peso atómico do oxigénio em relação ao do hidrogénio é de 16.

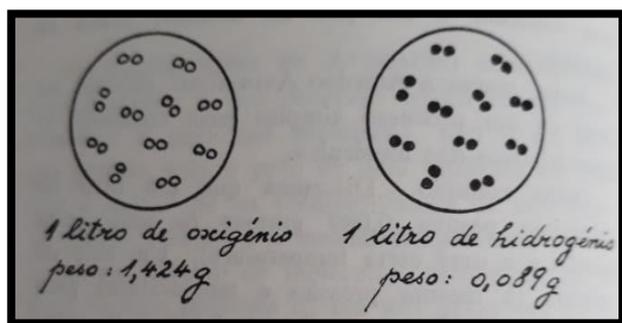


Figura 12: O volume do oxigénio é 16 vezes mais pesado do que o mesmo volume de hidrogénio (porque 1,424 a dividir por 0,089 é igual a 16). Como ambos os volumes (que se supõem à mesma pressão e temperatura) contêm o mesmo número de moléculas, concluimos que cada molécula de oxigénio pesa 16 vezes mais do que uma molécula de hidrogénio. E como cada molécula de qualquer destes gases é um par de átomos, concluimos também que 1 átomo de oxigénio é 16 vezes mais pesado do que 1 átomo de hidrogénio.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1955)

As implicações dos trabalhos de Gay-Lussac e das intuições de Avogadro foram as seguintes: A molécula de água representa-se por H_2O (e não por HO como pensava Dalton), o oxigénio por O_2 e o hidrogénio por H_2 (Carvalho, Rómulo de, 1955).

Avogadro estabeleceu, em 1811, que volumes iguais de gases diferentes, medidos nas mesmas condições de pressão e de temperatura, contêm o mesmo número de partículas (e que o volume de um gás, a uma dada pressão e temperatura, é diretamente proporcional à quantidade química).

Para quantidades químicas variáveis de um gás (n_i), a temperatura (T) e pressão constante (P), podemos escrever as equações dos gases ideais:

$$PV_1 = n_1RT \text{ e } PV_2 = n_2RT$$

Onde R é uma constante física, denominada de “constante universal dos gases”. Para P , V , n e T , expressas em unidades do SI, tem o valor de $8,314510 \text{ J mol}^{-1}\text{K}^{-1}$. Por outro lado, um gás que obedece à equação anterior diz-se ideal.

Assim, concluímos de imediato que:

$$V_1 / n_1 = V_2 / n_2 \text{ (} V / n = \text{ constante)}$$

e que, a temperatura e pressão constante, o volume de um gás varia na razão direta da quantidade química.

Considerando dois gases, A e B, nas mesmas condições de pressão e temperatura, podemos igualmente relacionar o volume de cada um com as respetivas quantidades químicas, do seguinte modo:

$$V_A / n_A = V_B / n_B$$

$$V_A / V_B = n_A / n_B$$

Se $V_A = V_B$, então $n_A = n_B$. Nas condições PTN ($p = 1\text{atm}$ e $T = 273\text{K}$), para $n_A = n_B = 1\text{mol}$, então $V_A = V_B = 22,4\text{dm}^3$.

O volume ocupado por uma mole de uma dada substância (mesmo que não esteja no estado gasoso) designa-se por volume molar (V_m) e representa-se por:

$$V_m = V/n$$

Para um gás nas condições PTN, o volume molar é, como vimos, $22,4\text{dm}^3\text{mol}^{-1}$.

Através do pensamento e das descobertas dos quatro cientistas (Robert Boyle, John Dalton, Gay-Lussac e Avogadro), o aluno terá uma ideia de como se desenvolve a história da ciência:

as verdades advêm dos erros e a polémica é vital para a evolução da mesma. Depois de fazer referência aos filósofos greco-romanos (como Leucipo, Demócrito e Lucrecio), que refletiram sobre a (des)continuidade da matéria, podemos articular, em sala de aula, as figuras usadas no livro, as declarações dos cientistas e a explicação superior de Rómulo de Carvalho, para abordarmos a evolução do conceito de átomo ao de molécula (e entrar na noção de volume molar e de constante de Avogadro), passando pela hipótese atômica de Dalton, pela lei de Boyle-Mariotte, pela lei da combinação dos gases de Gay-Lussac e, finalmente, pela hipótese de Avogadro.

4.2 Reações Fotoquímicas

As reações fotoquímicas são reações induzidas pela interação da radiação eletromagnética com a matéria. No 10.º Ano de escolaridade, as reações fotoquímicas são objeto de ensino-aprendizagem, sobretudo as que ocorrem na atmosfera. O “*Programa de Física e Química A*” sugere-nos, também, a realização de uma atividade laboratorial à microescala para investigar o efeito da luz sobre o cloreto de prata. Para situar o aluno e depois de se realizar a atividade, podemos recorrer ao livro de Rómulo de Carvalho, *História da Fotografia* (fig.13), e abordar os trabalhos de Louis Daguerre, Fox Talbot e John Herschel.

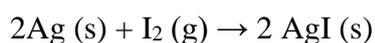


Figura 13: Capa do livro “*História da Fotografia*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1952)

A metodologia a seguir e a análise dos resultados, para a atividade laboratorial, estão descritos na **Caixa I**. Nesta atividade tem de se usar luvas (os sais de prata podem reagir com substâncias presentes nas mãos e evitamos que estas contactem com o cloreto de prata) e bata.

Um daguerreótipo consiste numa imagem fotográfica que tem por suporte uma chapa metálica com uma camada de prata polida. A chapa metálica (de cobre, por exemplo) pode ser prateada por um processo galvânico. Depois de prateada, a chapa é polida para se tornar refletora. Exposta a vapores de iodo, a camada fina de prata oxida-se e torna-se dourada e sensível à luz, formando-se um sal cristalino de iodeto de prata (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000). A reação de oxidação-redução é a seguinte:



A chapa colocada, inicialmente, ao abrigo da luz, é, então, exposta à luz durante alguns minutos, numa câmara escura com uma abertura (fig.14). Onde a luz cai, um eletrão abandona um ião iodeto e vai reduzir um ião de prata próximo de si. Dizemos que a prata escurece.

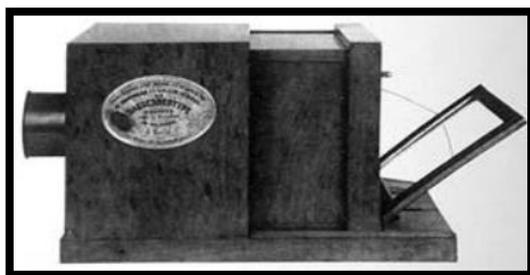
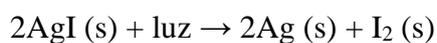
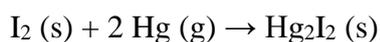


Figura 14: Câmara usada por Daguerre.

(Fonte: Salles, F., 2004)

Agora, a imagem tem de aparecer, isto é, tem de ser revelada. Para o efeito, a chapa é exposta a vapores de mercúrio. Nas zonas sensibilizadas pela luz, o mercúrio adere e forma-se uma amálgama branca de iodeto de mercúrio (II) e de prata (Salles, F., 2004).



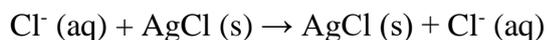
Nas zonas não expostas, onde se encontra o iodeto de prata, não se verifica qualquer reação. Depois a chapa é fixada, para remoção do iodeto de prata, e, por fim, é lavada e posta a secar. Este foi o processo usado por Louis Daguerre para obter os seus daguerreótipos, em 1837 (fig.15).



Figura 15: Imagem que Daguerre considerava o primeiro daguerreótipo bem-sucedido

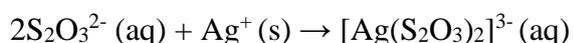
(Fonte: Salles, F., 2004)

William Henry Fox Talbot, que também trabalhava desde 1833 na obtenção de imagens, em vez de usar só folhas metálicas revestidas com iodeto de prata, usou também folhas de papel revestidas com cloreto de prata (outro haleto de prata). Todavia, depois da captura e revelação da imagem (imagem em negativo), era necessário remover os sais de cloreto de prata que não foram sensibilizados pela luz (a fixação da imagem), isto é, era necessário imprimir o negativo. Fox Talbot, para o efeito, sensibilizou uma folha de papel, mergulhada em banho de cloreto de sódio concentrado, colocou o negativo sobre a folha de papel emulsionada, e, depois, deitou o conjunto à luz, obtendo uma imagem positiva (ou um negativo de um negativo) (Salles, F., 2004).



Este processo é denominado de calótipo. Assim, evitava-se o aparecimento de manchas escuras na fotografia.

John Herschel, mais tarde, fez duas descobertas importantíssimas: primeiro, descobriu que o nitrato de prata era o mais sensível à luz, depois, que o tiosulfato de sódio era um fixador perfeito, detendo a redução dos iões de prata. No caso de uma folha revestida a iodeto de prata, o iodeto de prata que não reagiu (devido às sombras do objeto) é dissolvido em solução aquosa de tiosulfato de sódio pentahidratado ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000). Os aniões de tiosulfato ($\text{S}_2\text{O}_3^{2-}$) coordenam-se aos iões de prata (Ag^+), formando-se o ião complexo $[\text{Ag}(\text{S}_2\text{O}_3)_2]^{3-}$.



Hoje em dia a revelação de um papel fotográfico (camada de gelatina, emulsão de sais de prata e uma base de papel ou celulose), que forma imagens a preto e branco, segue muitas das descobertas referidas anteriormente. No entanto, como agente revelador, isto é, que transforma um haleto de prata em prata metálica e que permite a visualização da imagem latente, é usada a hidroquinona (fig.16) (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000).

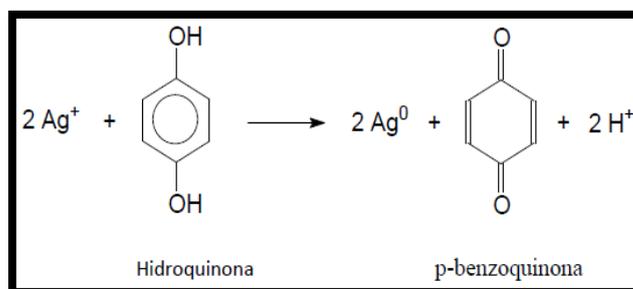


Figura 16: Reação de oxidação-redução entre a hidroquinona e os iões de prata.

(Fonte: Souza, C. E. R. & Neves, J. R., 2009)

O agente revelador reduz alguns iões de prata, cedendo-lhe eletrões. As regiões mais claras do objeto refletem mais luz e sensibilizam mais o papel, que, ao entrar em contacto com o revelador, reduz iões de prata a prata metálica. As regiões mais escuras do objeto sensibilizam pouco ou não sensibilizam o papel; onde o papel foi pouco sensibilizado ou não foi sensibilizado pela luz, formam-se tons em cinza ou branco (fig.17) (Souza, C. E. R. & Neves, J. R., 2009).



Figura 17: regiões claras e escuras de uma fotografia de uma árvore revelada a preto e branco.

(Fonte: Pessanha, Pâmella Jane Ribeiro, 2017)

Após a revelação, é necessária uma lavagem para interromper a ação do revelador. O ácido acético pode ser usado para o efeito (fig.18) (Pessanha, Pâmella Jane Ribeiro, 2017).

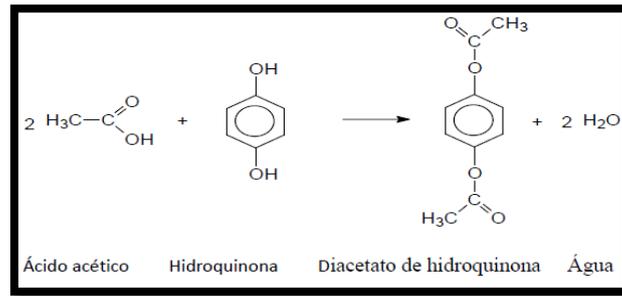


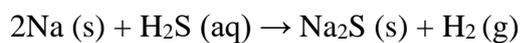
Figura 18: Reação de esterificação entre o ácido acético e a hidroquinona.

(Fonte: Pessanha, Pâmella Jane Ribeiro (2017))

No fim da revelação, existem, ainda, cristais de haleto de prata (como o brometo de prata) que não foram revelados e que necessitam de ser removidos. Estes cristais deixam a imagem opaca. É, então, que se usa a solução de tiosulfato de sódio como fixador (Pessanha, Pâmella Jane Ribeiro, 2017).



Após a fixação, é necessário proceder à lavagem da folha, para remover resíduos. Os resíduos podem originar o sulfureto de sódio (Na₂S) que confere a cor sépia (amarelada) presente nas fotos antigas (Pessanha, Pâmella Jane Ribeiro, 2017). A reação é a seguinte:



4.3 Marcos Importantes na História da Indução Eletromagnética

➤ Isaac Newton e Charles Augustin de Coulomb

A força da gravidade foi a primeira a ser expressa numa linguagem científica por Isaac Newton. A sua lei da gravitação universal, datada de 1687, diz-nos que, se considerarmos um corpo qualquer do universo, ele atrai os restantes, através de uma força cuja intensidade é proporcional à sua massa e inversamente proporcional ao quadrado da distância entre os objetos. Em “*Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*”, Isaac Newton escreveu que:

Se, contudo, as esferas são dissimilares (como a densidade da matéria e a força atrativa), na mesma razão a força progride do centro para a circunferência; mas em toda a distância a partir do centro como em todos os lados ao redor; e a força atrativa de todos os pontos decresce com o quadrado da distância do corpo atraído: digo que toda a força com que uma destas esferas atrai a outra será inversamente proporcional ao quadrado da distância dos centros (Branco, Maria do Rosário Correia, 2001).

Se considerarmos dois corpos esféricos homogêneos (um corpo de massa m_1 e um corpo de massa m_2) com os centros à distância r e um vetor unitário \vec{e}_r , com a direção e o sentido do vetor posição do corpo de massa m_2 em relação ao corpo de massa m_1 , a força gravítica exercida pelo corpo m_1 sobre o corpo m_2 é dada por:

$$\vec{F}_{21} = -G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_r$$

Já a força gravítica exercida pelo corpo m_2 sobre o corpo m_1 é dada por:

$$\vec{F}_{12} = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \vec{e}_r$$

onde G representa a constante de gravitação universal e é válida para todos os corpos do universo.

Estas forças constituem um par ação-reação: se uma força gravítica é exercida pelo primeiro sobre o segundo corpo, com a direção da linha que une os centros dos dois corpos e apontando para o primeiro corpo, outra força gravítica é exercida, em simultâneo, pelo segundo sobre o

primeiro corpo, com a mesma direção e intensidade e em sentido oposto, isto é, apontando para o centro do segundo corpo (fig.19). A força gravítica é, então, atrativa.

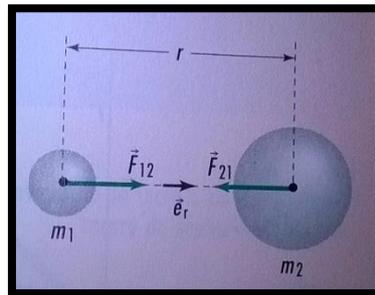


Figura 19: Forças gravíticas atrativas entre dois corpos.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

Após a descoberta de Newton, descobriu-se, através de experiências de atrações e repulsões entre corpos eletrizados, a existência de forças entre esses corpos. Assim, duas partículas carregadas positivamente ou negativamente repeliam-se (tal qual para as forças gravíticas, o par ação-reação das forças elétricas tem a linha de ação que une os centros das duas partículas, sentidos opostos e a mesma intensidade), enquanto duas partículas, uma carregada positivamente e a outra negativamente, atraíam-se. Charles Augustin de Coulomb (1736-1806), em 1785, com base em experiências com uma balança de torsão, estabeleceu as leis quantitativas das ações elétricas, válidas para cargas pontuais (cujas dimensões são muito menores do que a distância entre elas) (Sá, Maria de, 1999). Segundo estas leis, a intensidade da força elétrica é inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as cargas e diretamente proporcional ao módulo das cargas elétricas.

Assim, seja q_1 e q_2 duas cargas elétricas pontuais, à distância r uma da outra, a força elétrica que a carga q_1 exerce sobre a carga q_2 é dada por:

$$\vec{F}_{21} = k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

onde k é uma constante e \vec{e}_r um vetor unitário com a direção e o sentido do vetor posição da carga elétrica q_2 em relação à carga elétrica q_1 . Já a força elétrica que a carga elétrica q_2 exerce sobre a carga elétrica q_1 é:

$$\vec{F}_{12} = -k \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{e}_r$$

Salientamos que estas duas forças são válidas para valores positivos e negativos das cargas q_1 e q_2 . Considerando a terceira lei de Newton, estas duas forças constituem um par ação-reação (fig.20).

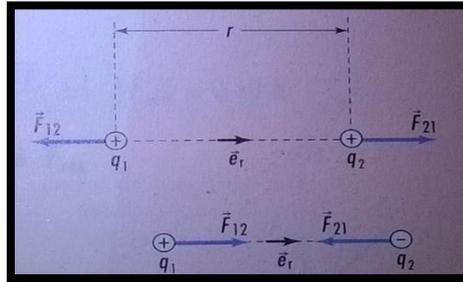


Figura 20: Forças elétricas entre dois corpos.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

➤ Alessandro Volta

O estudo das forças elétricas e das forças magnéticas ocorreu durante aproximadamente um século: de meados do século dezoito até a meados do século dezanove. O passo decisivo para se conhecer mais sobre a natureza destas forças foi a invenção da pilha elétrica por Alessandro Volta, em 1779 (fig.21). Os terminais desta pilha eram designados de pólo positivo e de pólo negativo, e, por meio dela, era possível criar uma corrente elétrica num condutor metálico, inserido num circuito elétrico e com os terminais ligados aos terminais da pilha. De verdade, já Antoine Lavoisier obtivera antes correntes elétricas através de reações químicas de oxidação-redução. Rómulo de Carvalho, em “A Corrente Elétrica” (fig.22), volume 13 dos Cadernos de Iniciação Científica, descreve a pilha de Volta do seguinte modo:

Volta designou o seu invento por eletro-mor, mas o dispositivo ficou conhecido por pilha, nome que foi bem aplicado pois consistia num conjunto de discos metálicos, como moedas grandes, de dois metais diferentes, empilhados uns sobre os outros, alternadamente um metal e outro metal. Os pares de metal usados pelo físico italiano foram escolhidos entre o cobre, a prata e o zinco. Volta empilhou vários pares de discos de dois desses metais, alternadamente e sempre pela mesma ordem, separando cada par do seguinte por um disco de um material capaz de embeber líquidos. Para o efeito utilizou cartão embebido em água salgada. No conjunto, os discos extremos da pilha eram de metais diferentes (Carvalho, Rómulo de, 1983a).

O próprio Alessandro Volta, numa carta datada de 21 de março de 1800, descreveu assim a sua invenção:

Coloco em cima da mesa um disco metálico, por exemplo, de prata, e em cima dele um disco de zinco; sobre este segundo disco, deito um disco de feltro húmido; depois, outro de prata seguido imediatamente por um de zinco, no qual coloco um outro de feltro humedecido. Vou continuando, sempre, do mesmo modo...inserindo entre cada par de discos de prata e zinco um disco humedecido, até ter uma coluna tão alta que se segure sem cair (Bello, Adelaide & Helena Caldeira & Esmeralda Costa, 1996).

Acrescentamos, também, que Volta pretendia descobrir qual a razão da contração dos músculos das pernas das rãs, já esventradas, quando se tocava as suas extremidades, com dois metais diferentes ligados entre si, como descobrira, antes, Luigi Galvani.



Figura 21: Pilha de Volta.

(Fonte: Bello, Adelaide & Helena Caldeira & Esmeralda Costa, 1996)



Figura 22: Capa do livro “A Corrente Eléctrica”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1983a)

Depois desta invenção, pensou-se que os efeitos magnéticos eram produzidos pelos mesmos poderes do que os elétricos. Assim, uma pilha seria suscetível de se orientar no espaço, como fazem as agulhas magnéticas, apontando a linha dos seus pólos, positivo e negativo, para o norte e sul geográficos. No entanto, resultados experimentais confirmaram que uma pilha, num circuito e suspensa num fio, não se orientava, isto é, não haveria qualquer relação entre fenómenos elétricos e magnéticos.

➤ Hans Christian Oersted

No início do ano de 1820, Oersted observou, pela primeira vez, a interação entre um fio percorrido por uma corrente elétrica e uma agulha magnética. Ele mostrou que uma agulha magnética sofria uma torção, sendo defletida da sua orientação natural ao longo do meridiano magnético. O resultado da experiência foi comunicado, a 21 de julho de 1820, num artigo intitulado “*Experimenta circa effectum conflictus electrici in acum magneticam*”. Este artigo foi, depois, traduzido para inglês com o título “*Experiments on the effect of a current of electricity on the magnetic needle*”.

Na Universidade de Copenhaga, ao preparar uma aula e servindo-se de uma pilha, montou um circuito elétrico e aproximou de uma porção de um fio condutor, percorrido por uma corrente elétrica, uma agulha magnética. Inicialmente, colocou o fio condutor sobre a agulha magnética e perpendicularmente a ela e nada aconteceu. Depois, ao tocar inadvertidamente no fio condutor e colocá-lo paralelamente à agulha, observou, boquiaberto, que a agulha magnética rodava em torno do eixo vertical. Notemos que não é, todavia, suficientemente claro que esta experiência fosse realizada intencionalmente (Lewin, Walter & Warren Goldstein, 2016). A descoberta ocorreu no ano de 1820 e permitiu que se concluísse, posteriormente, que eram as cargas elétricas em movimento que produziam campos magnéticos, isto é, uma carga elétrica em movimento gerava uma força magnética que podia atuar em ímanes. Oersted realizou, depois, uma série de experiências alterando a orientação do fio condutor, da agulha magnética e o sentido da corrente elétrica (Darrigol, Olivier, 2000). Na primeira, colocou o fio condutor deitado sobre a agulha magnética e paralelo a ela, e concluiu que se a extremidade ao norte do fio condutor estivesse ligada ao pólo negativo da pilha, o pólo norte da agulha magnética mover-se-ia para oeste (fig.23 a e b) (se a extremidade ao norte do fio condutor estivesse ligada ao pólo positivo da pilha, o pólo norte da agulha magnética mover-se-ia para este). Depois,

deslocou o fio condutor para este e para oeste e verificou que a ação do fio sobre a agulha magnética enfraquecia. Considerando o fio condutor paralelo a uma agulha magnética orientada na direção do meridiano magnético e a corrente elétrica apontando de sul para norte, se o fio estiver por de baixo da agulha magnética o pólo norte da agulha desviar-se-á para este (fig.23 c e d) (se a corrente apontar de norte para sul, o pólo norte desviar-se-á para oeste) .

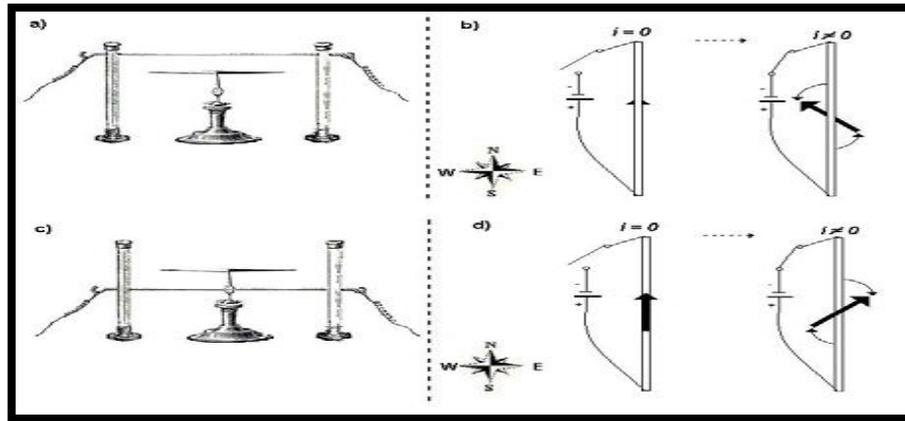


Figura 23: Experiência de Oersted.

(Fonte: Assis, A. K. T. & Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J. & Chaib, J. P. M. C., 2007)

O físico dinamarquês resumiu assim as suas observações:

Let the straight part of this wire be placed horizontally above the magnetic needle, properly suspended, and parallel to it. If necessary, the uniting wire is bent so as to assume a proper position for the experiment. Things being in this state, the needle will be moved, and the end of it next the negative side of the battery will go westward (Oersted, H. C., 1820).

If the distance of the uniting wire does not exceed three-quarters of an inch from the needle, the declination of the needle makes an angle of about 45° . If the distance is increased, the angle diminishes proportionally. The declination likewise varies with the power of the battery (...) (Oersted, H. C., 1820).

If the uniting wire be placed in a horizontal plane under the magnetic needle, all the effects are the same as when it is above the needle, only they are in an opposite direction,

for the pole of the magnetic needle next the negative end of the battery declines to the east (Oersted, H. C., 1820).

That these facts may be the more easily retained, we may use this formula – the pole above which the negative electricity enters is turned to the west, under which, to the east (Oersted, H. C., 1820).

O próximo passo consistiu em colocar o fio condutor na vertical com a extremidade inferior ligada ao pólo positivo da pilha e diante do pólo norte da agulha magnética; neste caso, o pólo norte da agulha magnética moveu-se para este. Finalmente e ainda com o fio condutor na vertical e a extremidade inferior ligada ao pólo positivo da pilha, se o fio condutor estiver no lado este ou oeste e entre o pólo norte e o centro da agulha magnética, o pólo norte mover-se-á para oeste.

No artigo referido anteriormente, Oersted usou a expressão “conflito de elétrico” em vez de “corrente elétrica” no fio ligado aos terminais da bateria voltaica. Pensava, deste modo, que existia, no fio condutor, um fluxo duplo de cargas positivas e de cargas negativas, em sentidos opostos, que podiam colidir, conflituosamente, umas com as outras e separar-se. Oersted considerava que o “conflito” existia também no espaço vizinho do fio condutor e que atuava somente em materiais com propriedades magnéticas:

It is sufficiently evident from the preceding facts that the electric conflict is not confined to the conductor, but dispersed pretty widely in the circumjacent space (Oersted, H. C., 1820).

All the effects on the north pole abovementioned are easily understood by supposing that negative electricity moves in a spiral line bent towards the right, and propels the north pole, but does not act on the south pole. The effects on the south pole are explained in a similar manner, if we ascribe to positive electricity a contrary motion and power of acting on the south pole, but not upon the north. The agreement of this law with nature will be better seen by a repetition of the experiments than by a long explanation. The mode of judging of the experiments will be much facilitated if the course of the electricity currents in the uniting wire be pointed out by marks or figures (Oersted, H. C., 1820).

➤ Jean-Baptiste Biot e Felix Savart

Jean-Baptiste Biot determinou, através da deflexão de uma agulha magnética, a força entre um elemento de corrente e um pólo magnético (a extremidade de uma longa e uniforme agulha magnética), e, com o auxílio de Felix Savart, estabeleceu, pelo método de Coulomb da oscilação de uma agulha magnética, que a força entre um pólo e um fio, retilíneo e longo, varia com o inverso da distância entre eles. Para este fim, usaram um método semelhante ao da figura 24. No entanto, Laplace esclareceu-lhe que isso implicava uma dependência de $1/r^2$ para a contribuição de cada elemento de corrente para a força (Darrigol, Olivier, 2000). O estudo do desvio da agulha magnética, na experiência de Oersted, permitiu, deste modo, que Biot e Savart concluíssem que o momento da força exercido sobre a agulha variava com o inverso da distância entre o fio e a agulha (Chaib, J. P. M. de C. & Assis, A. K. T., 2007).

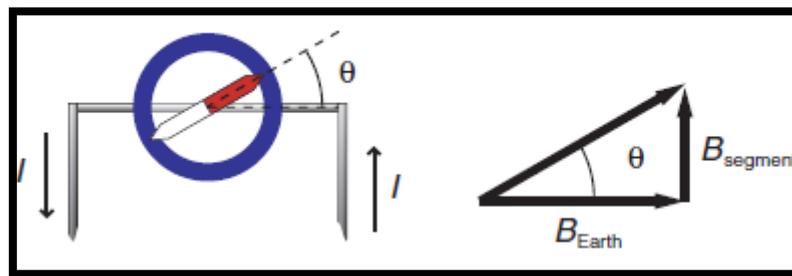


Figura 24: Na figura, vista por de cima, representa-se o desvio de uma agulha magnética que, inicialmente, se apresentava na direção dos pólos magnéticos da Terra. A relação entre o campo magnético terrestre e o campo criado por um segmento do fio condutor reto ($B_w = B_E \tan\theta$), permite, variando a distância do centro da agulha ao fio, estabelecer a relação entre o módulo do campo magnético criado pelo fio e pela Terra e a distância.

(Fonte: (Phillips, Jeffrey A. & Sanny Jeff, 2008)

Um outro modo de estudarmos a variação do campo magnético com a distância consiste no uso de um íman em barra (ou de um íman cilíndrico) colocado numa direção paralela ao campo magnético terrestre e a uma determinada distância de uma agulha magnética (Kodama, Kazuto, 2009) (fig.25). Depois, variamos a distância entre os dois e medimos a deflexão da agulha, para a aproximação do pólo norte e do pólo sul.

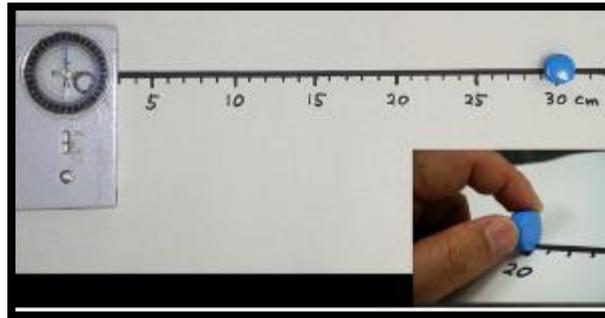


Figura 25: Experiência para estudar a variação do campo magnético com a distância. Neste caso, usa-se um íman cilíndrico.

(Fonte: Kodama, Kazuto, 2009)

A lei de Biot-Savart consiste numa relação fundamental entre a eletricidade e o magnetismo que permite a obtenção do campo magnético, num determinado ponto P do espaço, para uma corrente elétrica constante. Quando uma corrente I atravessa um percurso elementar e infinitesimal de um condutor finito, ds , cria uma contribuição infinitesimal para o campo magnético total, designada por $d\vec{B}$ (fig.26). O módulo da corrente que atravessa o fio condutor é constante. Se a corrente não for constante, as cargas podem começar a acumular-se umas sobre as outras e a lei de Biot-Savart deixa de ser válida (Ricketti, Berke, 2015). Pelo uso do princípio de sobreposição (que constata que o campo criado por fontes diferentes, isto é, dois ou mais segmentos de corrente, se pode adicionar vectorialmente), podemos calcular o campo magnético \vec{B} resultante de todas as contribuições $d\vec{B}$. O sentido e direção de uma contribuição infinitesimal são dados pelo produto vetorial $d\vec{s} \times \hat{r}$, onde \hat{r} é o vetor unitário com a direção e o sentido que une $d\vec{s}$ a um ponto P do espaço onde o campo magnético total é medido. r representa a distância entre o elemento de corrente (ou corrente infinitesimal $I \cdot d\vec{s}$) e o ponto P , e $d\vec{s}$ representa um segmento do fio condutor.

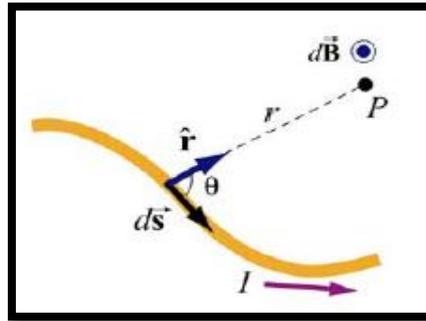


Figura 26: Criação de um campo magnético infinitesimal num ponto P, por um percurso infinitesimal percorrido por uma corrente elétrica.

(Fonte: Liao, Sen-Bem & Peter Dourmashkin & John Belcher, 2011)

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{d\vec{s} \times \hat{r}}{r^2}$$

Integrando para o comprimento do fio condutor, o campo magnético total no ponto P do espaço é dado por:

$$\vec{B} = \oint_C d\vec{B} = \frac{\mu_0}{4\pi} I \oint_C \frac{(d\vec{s} \times \hat{r})}{r^2}$$

Esta equação pode ser usada independentemente do tamanho e da forma do fio condutor (espira circular, solenóide, condutor longo e filiforme, etc.). Nela, μ_0 representa a permeabilidade magnética se o meio for o ar ou o vácuo ($\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ (N. A⁻² ou H.m⁻¹)). A relação entre a indução magnética (B) e a intensidade do campo magnético ou excitação magnética (H) depende do meio envolvente e é dada por $B = \mu H$, onde μ representa a permeabilidade magnética de um meio.

No caso de um condutor longo e filiforme, o módulo da indução magnética criada na sua vizinhança é dado por:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

Adiante, veremos que o módulo da indução magnética coincide com a obtida por Ampère, usando, este último, um método diferente.

No caso de um fio condutor retilíneo e finito de comprimento l (a corrente elétrica e o campo magnético são ortogonais), e de um ponto P situado na bissetriz perpendicular ao fio, onde se pretende calcular a indução magnética, o módulo da indução magnética é dado por:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0}{4\pi} I \frac{l}{r\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}$$

No limite $l/2 \gg r$ e $l/2 \ll r$, o módulo da indução magnética varia com $1/r$ e com $1/r^2$, respetivamente, correspondendo a um fio condutor infinito e a um segmento de corrente infinitésimo (Phillips, Jeffrey A. & Sanny Jeff, 2008).

Aqui, esclarecemos que o movimento de uma carga cria um campo magnético centrado na linha de movimento. No entanto, num fio há muitas cargas em movimento que criam o mesmo campo (fig.27). Deste modo, em vez de tomarmos cada elemento infinitesimal $d\vec{s}$, poderíamos calcular o campo magnético criado por uma carga pontual q em movimento, desde que o módulo da sua velocidade seja bastante inferior à velocidade da luz.

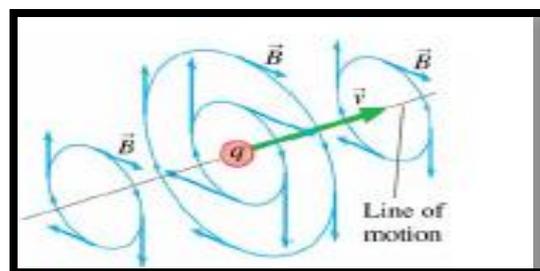


Figura 27: Campo magnético criado por uma carga q .

(Fonte: http://faculty.uml.edu/Andriy_Danylov/Teaching/PhysicsII)

Ampère também estudou com minúcia a experiência de Oersted e introduziu a expressão de força entre *elementos de corrente* de que falaremos adiante. Assim, os fenómenos magnéticos eram explicados através da interação entre correntes microscópicas ou *elementos de corrente*. Em oposição ao eletromagnetismo clássico, a eletrodinâmica de Ampère não se serve de nenhum campo para explicar as interações. Explica-as com base na terceira lei de Newton da ação à distância. A eletrodinâmica de Ampère teve, todavia, alguns opositores. Whittaker, por exemplo, considerava o seu calcanhar de Aquiles o facto de assumir que a força estava ao longo

da linha reta que une os dois elementos de corrente (por exemplo, na interação entre moléculas polares a força não está ao longo da linha reta que une as duas moléculas) (Whittaker, E. T., 1951).

➤ André-Marie Ampère

Dominique François Jean Arago (1786-1853), ao assistir em Genebra à repetição da experiência de Oersted, comunicou, a 11 de Setembro de 1820, os resultados à *Académie des Sciences de Paris*. A partir desse comunicado, André-Marie Ampère, Jean Baptiste Biot e Felix Savart trabalharam sobre a descoberta em busca de um modelo para descrever o fenómeno de interação entre o fio percorrido pela corrente e a agulha magnética.

André-Marie Ampère, professor na *École Royale Polytechnique*, era um perito experimental e considerava, à semelhança de Oersted, que os fenómenos elétricos e os magnéticos estavam interligados num fenómeno apenas, o eletromagnético. Ele teve duas ideias geniais: imaginou que no interior dos ímanes havia pequenas correntes elétricas, que eram responsáveis pela criação do campo magnético, e que, se uma corrente elétrica agisse sobre uma agulha magnética, então um íman agiria também sobre um fio móvel percorrido por uma corrente elétrica (Allègre, Claude, 2005). O fio mover-se-ia então sob o efeito de uma força magnética. Na realidade era isto que se passava.

Começando pela segunda ideia, Ampère pensou que a interação entre dois fios, percorridos por uma corrente elétrica, seria possível sem a intervenção de um magnete. Para confirmar a sua hipótese concebeu vários aparatos e demonstrou, em setembro e outubro de 1820, que os fios elétricos ora se atraíam ora havia repulsão entre eles (como nos ímanes), conforme a corrente que os percorria tinha o mesmo sentido ou sentidos contrários. Em outubro de 1820, na *Académie des Sciences de Paris*, usou o aparato da figura 28. Nele, as correntes percorriam um segmento AB fixo e um segmento móvel CD. O segmento AB era maior do que o segmento CD. Já o contrapeso H era ajustado de modo que, na ausência de correntes, o segmento CD estivesse muito próximo de AB. Assim a ação de AB em CD determinava a rotação de CDEF em torno do eixo não condutor EF (Darrigol, Olivier, 2000).

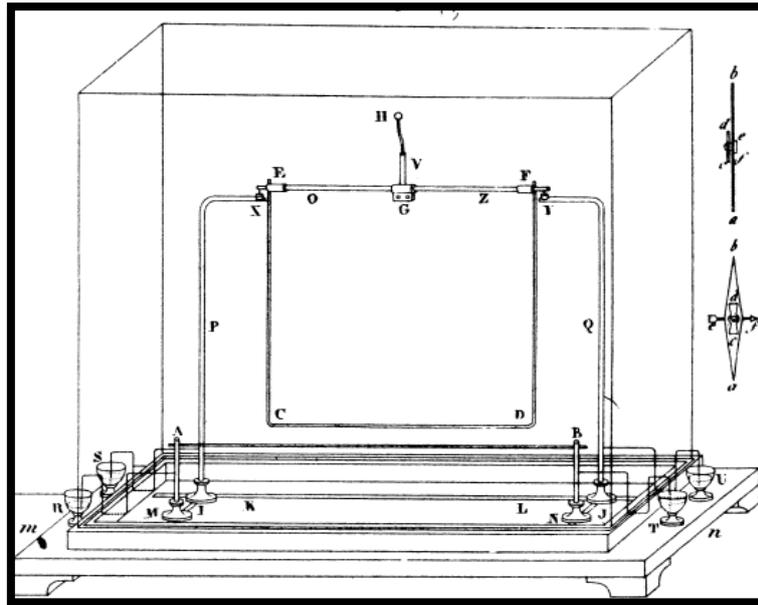


Figura 28: Aparato de Ampère para a verificação da atração e repulsão entre dois fios.

(Fonte: Darrigol, Olivier, 2000)

Uma outra experiência que Ampère realizou foi a de um enrolamento, cujos eixos coincidiam com os dos pólos norte e sul de um magnete na horizontal e com área de seção num plano vertical, que era percorrido por correntes elétricas. O enrolamento estava disposto de modo a poder mover-se na horizontal. Assim, quando uma corrente não percorria a espiral não havia interação entre o enrolamento e o magnete. Por outro lado, quando uma corrente percorria a espiral, ocorria atração e repulsão entre o enrolamento e o magnete, conforme o sentido da corrente. Refletindo sobre esta experiência, concebeu o aparato da figura 29 que lhe permitiu observar a atração e repulsão entre dois enrolamentos em espiral, quando percorridos por correntes elétricas. Para o efeito, bastou substituir o magnete por outro enrolamento, na experiência anterior.

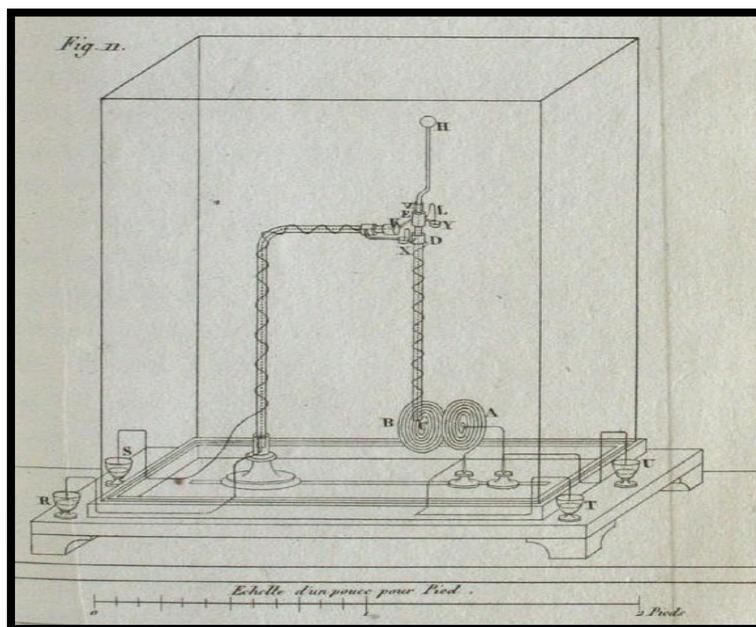


Figura 29: Aparato de Ampère para a verificação da atração e repulsão entre dois enrolamentos em espiral, A e B.

(Fonte: Assis, A. K. T. & Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J. & Chaib, J. P. M. C., 2007)

Poderíamos realizar esta última experiência em sala-de-aula. Precisaríamos somente de um suporte e dois enrolamentos em espiral, com as respectivas extremidades ligadas aos pólos de uma pilha (fig.30).

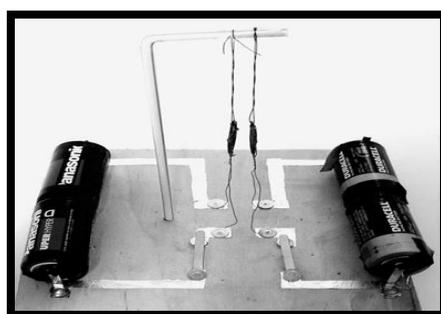


Figura 30: Atração e repulsão entre dois enrolamentos em espiral.

(Fonte: Assis, A. K. T. & Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J. & Chaib, J. P. M. C., 2007)

Em dezembro de 1820, Ampère enviou um manuscrito fragmentário à *Académie des Sciences de Paris*, intitulado “*Suite du mémoire sur l’action mutuelle entre deux courans elétriques, entre un courant électrique et un aimant ou le globe terrestre, et entre deux imans*”, e publicado, depois, nos *Annales de Chimie et de Physique*. Neste documento, Ampère assumiu, primeiro, que a força era atrativa ou repulsiva e direcionada ao longo da linha que une os dois elementos

do circuito, depois, que a força variava com o inverso do quadrado da distância entre os dois elementos de circuito. No caso especial dos dois elementos serem perpendiculares à linha que os une, deduziu que a força era maximamente atrativa para correntes paralelas, nula quando eram perpendiculares e repulsiva quando eram antiparalelas.

Seis anos depois, em “*On Mathematical Theory of Electrodynamical Phenomena Deduced Solely from Experiment*”, Ampère explicou a observação de Oersted, com base na lei de Newton da ação-reação:

Guided by Newtonian philosophy, I have reduced the phenomenon observed by M. Oersted, as has been done for all similar natural phenomena, to forces acting along a straight line joining the two particles between which the actions are exerted, and if I have established that the same arrangement, or the same movement of electricity, which exists in the conductor is present also round the particles of the magnets, it is certainly not to explain their action by impulsion as with a vortex, but to calculate, according to my formula, the resultant forces acting between the particles of a magnet, and those of a conductor, or of another magnet, along the lines joining the particles in pairs which are considered to be interacting (...) (Ampère, Marie-André, 1965).

Estas observações estavam, no entanto, ancoradas na segunda suposição de que os magnetes seriam compostos por correntes elétricas, curvas e fechadas, em torno das moléculas e perpendiculares aos eixos que unem os pólos. As correntes resultariam numa corrente superficial, a corrente de Ampère, que era semelhante à corrente num solenóide e que explicaria os fenómenos atrativos e repulsivos (fig.31).

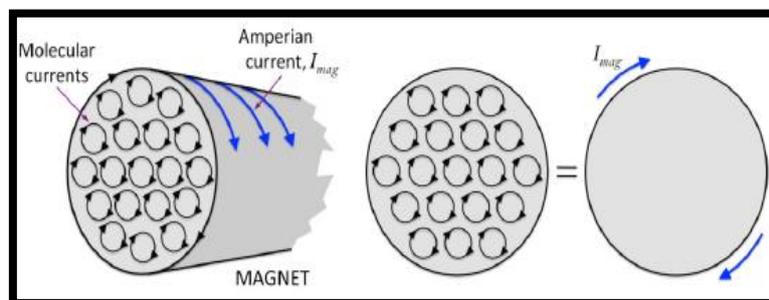


Figura 31: Correntes de Ampère num ímã.

(Fonte: Beléndez, A., 2015)

Este raciocínio podia aplicar-se a um solenóide (com um número grande de espiras), que, quando percorrido por uma corrente elétrica, adquiria dois pólos magnéticos nas suas extremidades. No caso do fio condutor da experiência de Oersted era necessário imaginar círculos fechados criados pelas cargas em movimento e com um sentido que dependia do sentido da corrente elétrica. Com esta suposição, apresentada a dois de outubro de 1820 à *Académie des Sciences de Paris*, Ampère considerava que os fluidos magnéticos simples de Oersted não existiam.

Como a Terra é um ímã enorme, Ampère, na mesma linha de raciocínio e para explicar as suas propriedades magnéticas, supôs que contivesse correntes elétricas internas circulando de este para oeste e numa direção perpendicular ao meridiano magnético. As rochas e os minerais da terra atuariam como uma pilha gerando correntes elétricas responsáveis pelo alinhamento de uma bússola. Assim, Ampère imaginou um homem deitado sobre a superfície da Terra de modo a ter o rosto voltado para uma agulha magnética e com a corrente elétrica terrestre no sentido dos pés para a cabeça, isto é, de leste para oeste e perpendicular ao meridiano magnético (fig.32).

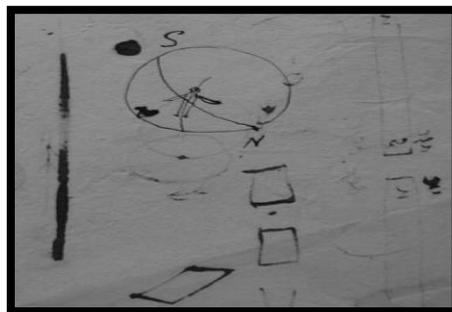


Figura 32: Le bonhomme d' Ampère. As letras N e S correspondem aos pólos geográficos da terra.

(Fonte: Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J. , 2009).

O *bonhomme d' Ampère* pode ser usado pelo aluno para, nas experiências de Oersted, determinar o sentido do campo magnético criado pela corrente elétrica que percorre um fio e, conseqüentemente, o desvio da agulha magnética. Ele deve colocar-se sempre deitado ao longo da corrente (com a corrente a entrar nos seus pés e a sair pela cabeça) e com a face voltada para o pólo da agulha (Demoulin, Gustave, 1888). Em todas as experiências, o pólo mais próximo do observador desvia-se da direita para a esquerda (fig.33, 34 e 35).

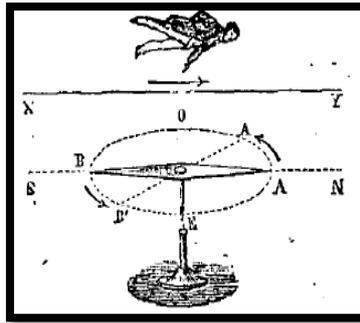


Figura 33: Desvio do pólo sul para a esquerda, com uma corrente superior.

(Fonte: Demoulin, Gustave, 1888)

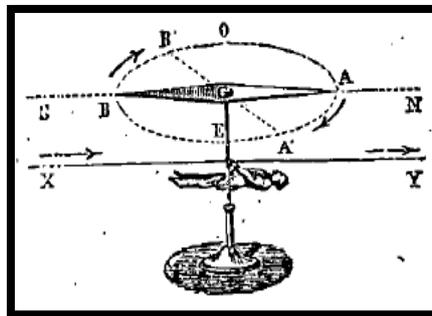


Figura 34: Desvio do pólo sul para a esquerda, com uma corrente inferior.

(Fonte: Demoulin, Gustave, 1888)

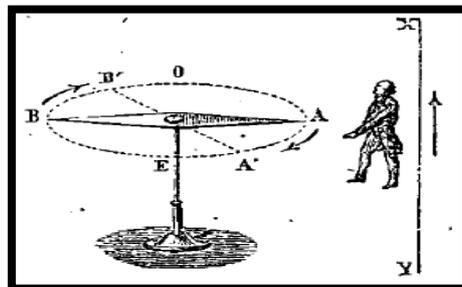


Figura 35: Desvio do pólo norte para a esquerda, com uma corrente ascendente.

(Fonte: Demoulin, Gustave, 1888)

Em 1826, Ampère desenvolveu ainda uma teoria das forças eletrodinâmicas entre dois segmentos infinitesimais (comprimento muito menor do que as distâncias que os separam) de dois fios elétricos percorridos por uma corrente elétrica. A fórmula era integrada sobre o percurso do circuito elétrico inteiro.

A origem dos campos magnéticos está no movimento das cargas. Isto pode ser comprovado colocando agulhas magnéticas ao redor de um fio condutor, na experiência de Oersted (fig.36). Se o fio não for percorrido por uma corrente elétrica, a agulha não se desviará. Pelo contrário, se for percorrido por uma corrente elétrica, a agulha desviar-se-á.

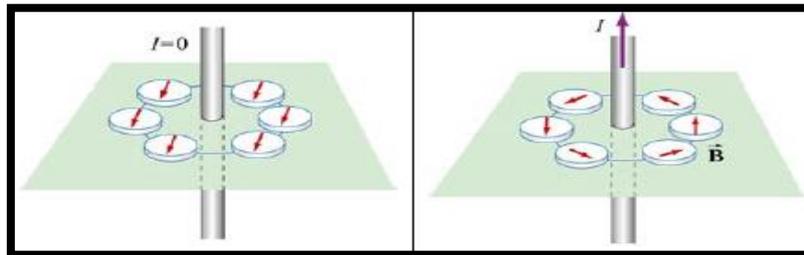


Figura 36: Comportamento das agulhas magnéticas, quando o fio não é percorrido por qualquer corrente e quando é percorrido por uma corrente I.

(Fonte: Liao, Sen-Bem & Peter Dourmashkin & John Belcher, 2011)

Este raciocínio permitiu que Ampère imaginasse um círculo ao redor do fio condutor (o círculo amperiano) e deduzisse a lei que hoje tem o seu nome e pode ser enunciada do seguinte modo:

the line integral (or circulation) of the magnetic field along a closed curve is proportional to the electric current passing through this loop only if it also passes through all open surfaces that have the loop as a boundary. The calculation is simpler in the case of a closed loop corresponding to a field line. (Barchiesi, Dominique, 2014).

Assim, pela lei de Ampère podemos calcular o campo magnetostático criado por um fio, estreito e de comprimento L, percorrido por uma corrente I, a uma distância r do fio (o raio da curva amperiana) (fig.37).

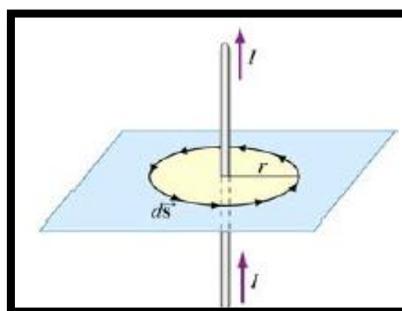


Figura 37: Raio da curva amperiana.

(Fonte: Liao, Sen-Bem & Peter Dourmashkin & John Belcher, 2011)

Somando todas as contribuições de $\vec{B} \cdot d\vec{s}$ (fig.37), a integral do campo magnético em torno da curva Γ (o círculo fechado de Ampère) à distância r é dada por:

$$\oint_{\Gamma} \vec{B} \cdot d\vec{s} = B \oint_{\Gamma} ds = \mu_0 \cdot I$$

Considerando o comprimento do círculo igual a $2\pi r$, o módulo da indução magnética criada pela corrente elétrica é o seguinte:

$$|\vec{B}| = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

A lei de Ampère pode ser generalizada, para qualquer círculo fechado e de qualquer tamanho que envolva muitas linhas de campo magnético, através da expressão:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 \cdot I_{int}$$

podendo aplicar-se a um fio condutor infinitamente longo percorrido por uma corrente elétrica constante, a uma lâmina infinitamente larga com uma determinada espessura e densidade de corrente, a um solenóide infinito e a um toróide.

Se considerarmos a experiência de Ampère de repulsão entre dois fios retilíneos e paralelos (I_1 e I_2), com as correntes com sentidos opostos e o sentido positivo das correntes tomado como o ascendente (fig.38), a integral do campo magnético em torno da curva fechada é dada por:

$$\oint_C \vec{B} \cdot d\vec{s} = \mu_0 (I_1 - I_2)$$

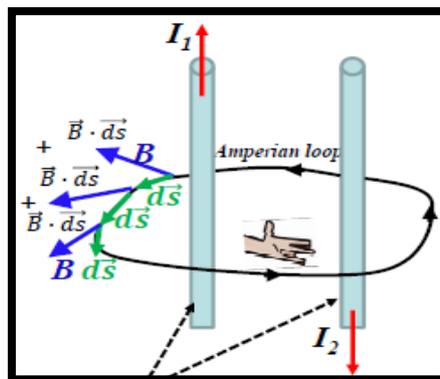


Figura 38: Círculo amperiano para duas correntes com sentidos opostos.

(Fonte: http://faculty.uml.edu/Andriy_Danylov/Teaching/PhysicsII)

Na experiência de Ampère de atração e repulsão de dois fios retilíneos condutores e paralelos, podemos usar a lei de Biot-Savart para a determinação do sentido da força magnética, \vec{F}_m , resultante da ação de um campo magnético sobre um elemento de corrente estacionária. Neste caso, um elemento de corrente $I_1 \Delta \vec{l}_1$ cria num ponto Q do outro fio um campo magnético \vec{B}_1 . Por outro lado, o campo \vec{B}_1 exerce no elemento de corrente $I_2 \Delta \vec{l}_2$ uma força magnética \vec{F}_1 . De igual modo, um elemento de corrente $I_2 \Delta \vec{l}_2$ cria, num ponto P do outro fio, um campo magnético \vec{B}_2 . Este campo \vec{B}_2 exerce no elemento de corrente $I_1 \Delta \vec{l}_1$ uma força magnética \vec{F}_2 (fig.39).

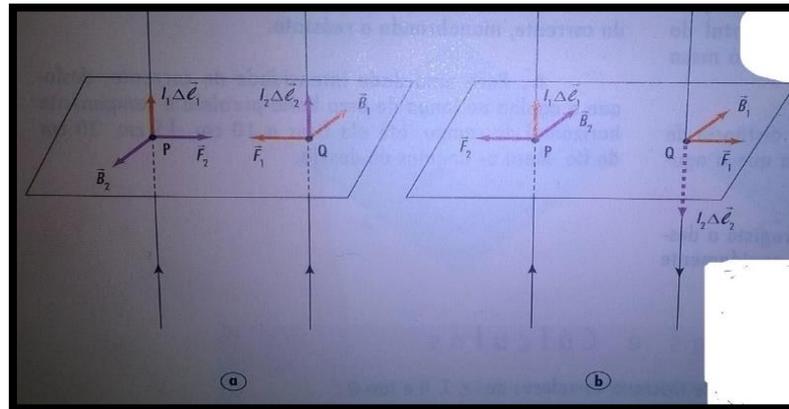


Figura 39: Interação entre dois condutores retilíneos e paralelos. (a) o sentido das correntes é o mesmo. (b) o sentido das correntes é oposto.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

A expressão vetorial que traduz a força magnética, \vec{F} , criada por um campo magnético, \vec{B} , num elemento de corrente, $I \Delta \vec{l}$, deriva da força de Lorentz (exercida sobre uma carga q, com velocidade v e num campo magnético B) e é a seguinte:

$$\vec{F} = I \Delta \vec{l} \times \vec{B}$$

$$\vec{F} = q \vec{v} \times \vec{B} \text{ (força de Lorentz)}$$

Desta expressão vetorial concluímos que: a força magnética é perpendicular ao plano que contém o elemento de corrente e a direção do campo magnético; a intensidade da força magnética é máxima quando o fio condutor é perpendicular ao campo magnético; e o sentido depende do sentido da corrente elétrica. Se se converter a equação vetorial numa equação algébrica, obtém-se:

$$F = I \Delta l B \sin \alpha$$

Estamos, deste modo, perante a lei de Laplace. Este físico e matemático francês (1749-1827) verificou, experimentalmente, que a força magnética depende da intensidade da corrente elétrica, do comprimento do fio condutor e da indução magnética. Já Ampère, como vimos, mostrou que a força magnética atuava perpendicularmente aos condutores.

Assim, a força \vec{F}_1 e a força \vec{F}_2 , na figura, têm o mesmo módulo:

$$F_1 = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \Delta l_2$$

$$F_2 = \frac{\mu_0}{2\pi} \times \frac{I_1 \cdot I_2}{r} \Delta l_1$$

Estas expressões traduzem a lei de Ampère das forças.

A teoria eletrodinâmica de Ampère e todas as descobertas contribuíram para que James Clerk Maxwell o considerasse o *Newton da Eletricidade* (Darrigol, Olivier, 2000). A sua ideia das correntes circulares para explicar os fenómenos magnéticos foi genial. Hoje sabemos que eles são explicados pelas camadas eletrónicas incompletas nos átomos dos materiais, sendo necessário que a soma do momento magnético orbital (resultante do movimento orbital dos eletrões, em torno do núcleo, que equivale a pequenas espiras percorridas por uma corrente) e do momento magnético de spin (resultante de uma propriedade intrínseca dos eletrões, o seu spin) não seja nula.

➤ Dominique François Jean Arago

Arago, ainda no frutuoso ano de 1820, publicou um artigo, nos *Annales de Chimie et Physique*, intitulado “*Expériences relatives a l'aimantation du fer et du l'acier par l'action du courant voltaïque*”. Neste artigo, Arago observou que um fio de cobre, ligado a uma pilha de Volta e percorrido por uma corrente elétrica, atraía pequenas limalhas de ferro ao seu redor e que as limalhas caíam, assim que se cessava a corrente. Isto era de tal modo surpreendente, uma vez que o fio não era de ferro, que se passou a falar em eletromagnetismo (Asimov, Isaac, 2004).

Ampère, que era amigo de Arago, procurou explicar este fenómeno com base nas correntes eléctricas circulares (de que já falámos) no interior do ferro. Propôs a Arago, com esse intuito, que se se enrolasse um fio ligado a uma bateria e se colocasse uma agulha de aço, envolvida em papel, no seu interior, a magnetização da agulha seria maior (recordemos que as correntes circulares eram semelhantes às correntes num solenóide). Nesta experiência, o fio do enrolamento, onde estava a agulha de aço, estava colocado perpendicularmente ao meridiano magnético de modo que não houvesse nenhum efeito do campo magnético terrestre (já se sabia que uma agulha não era desviada por uma corrente eléctrica se a direcção desta fosse perpendicular à da agulha magnética). Após alguns minutos no interior da hélice, a agulha era magnetizada e nas extremidades do enrolamento em hélice surgiam dois pólos magnéticos. A posição dos pólos magnéticos dependia do sentido da corrente eléctrica e do sentido em que o fio era enrolado. Por outro lado, se se colocasse um núcleo de aço no interior do enrolamento o efeito magnético intensificar-se-ia e o aço era magnetizado (fig.40). Com esta experiência, Arago demonstrou que não existia só uma interacção entre fenómenos eléctricos e magnéticos como também era possível gerar um a partir do outro (Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J., 2009).

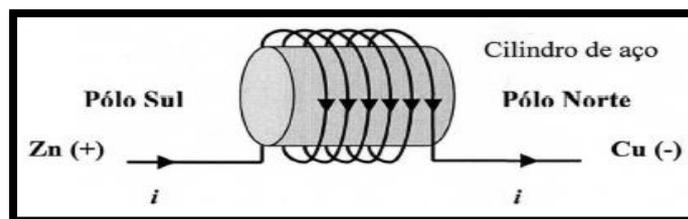


Figura 40: Enrolamento de espiras, com um núcleo de aço no seu interior, ligado aos terminais de uma pilha voltaica.

(Fonte: Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J., 2009).

Ampère e Arago realizaram ainda outra experiência para verificar a inversão dos pólos de dois enrolamentos ligados entre si retilineamente (fig.41). Nesta experiência as espiras de uma hélice estavam enroladas num sentido e as espiras de outra hélice estavam enroladas em sentido contrário. Quando a corrente atravessava os dois enrolamentos, se se colocasse uma agulha magnética junto de uma face ela seria desviada num sentido, e, se se invertesse a corrente, ela seria desviada no sentido oposto. Este facto dependia também do sentido do enrolamento.

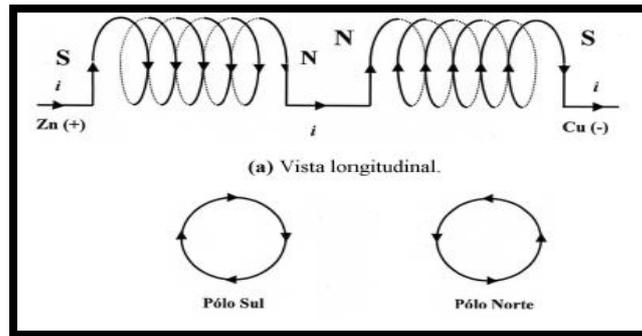


Figura 41: Enrolamentos de espiras ligados aos terminais de uma pilha voltaica. O sentido da corrente em cada um dos enrolamentos é oposto.

(Fonte: Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J., 2009).

Em uma outra experiência de relevo, Arago observou que, se uma agulha magnética oscilasse próximo de um disco de cobre, a amplitude das oscilações diminuiria, e, se a agulha estivesse parada e o disco se movesse, a agulha começaria a oscilar (fig.42). Este efeito foi, como veremos adiante, explicado por Michael Faraday.

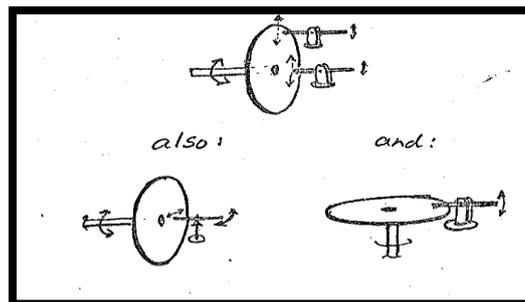


Figura 42: Oscilação de uma agulha junto de um disco de cobre em rotação.

(Fonte: Devons, Samuel, 1975)

➤ Michael Faraday

Michael Faraday, cientista britânico autodidata, assistente de laboratório de Sir Humphry Davy e com conhecimentos matemáticos paupérrimos, refletindo sobre a experiência de Oersted, pensou que, se uma corrente elétrica contínua originava um campo magnético, então também seria possível obter correntes elétricas usando magnetes. Fora um amigo, Richard Phillips, que o persuadira, em 1821, a debruçar-se sobre o eletromagnetismo.

Michael Faraday realizou várias experiências, em 1824, 1825 e 1828, sem sucesso. Porém, não baixou os braços. De agosto a dezembro de 1831, voltou a realizar uma série de experiências onde observou o fenômeno da indução eletromagnética. Numa dessas experiências, a 29 de agosto, usou um anel de ferro macio, onde, à sua volta e em metade da circunferência, realizou três enrolamentos em hélice de fio de cobre que estavam ligados em série aos terminais de uma bateria voltaica com placas de zinco e cobre. Na segunda metade da circunferência, fez dois enrolamentos ligados em série, e, cujos terminais estavam ligados a uma espira enorme, por debaixo da qual se colocava uma agulha magnética (fig.43, a e b, e 44). Quando Faraday ligava o circuito da bateria, a agulha desvia-se, por momentos, e depois volta à posição inicial. Por outro lado, quando desligava o circuito da bateria, a agulha desviava-se em sentido oposto e, depois, retornava à posição inicial.

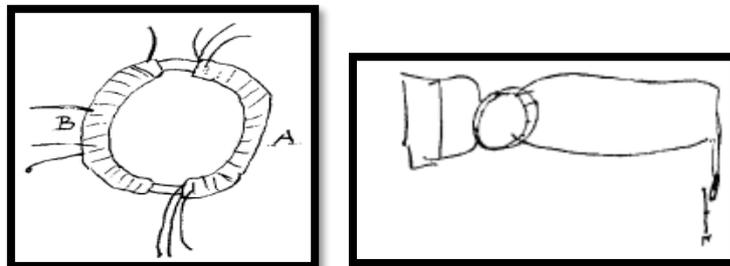


Figura 43, a e b: (a) Desenho de Faraday do anel e (b) do circuito, com a bateria conectada ao lado esquerdo do anel e o galvanómetro ao lado direito.

(Fonte: Cavicchi, Elizabeth, 2006)

O uso do anel de ferro macio talvez fosse influenciado pelas experiências de Henry e de Gerritt Moll's com eletromagnetes ((Darrigol, Olivier, 2000) e tinha como fim aumentar o poder do campo magnético. Uma das explicações para o seu fracasso inicial era a de que os instrumentos de detetar correntes elétricas, os galvanómetros, na altura ainda não detetavam correntes muito fracas (eram rudimentares), outra era a de que não tinha sido usado um núcleo de ferro macio entre o circuito induzido e o indutor, e, por fim, que o circuito induzido consistia apenas em uma espira ligada ao galvanómetro ((Darrigol, Olivier, 2000).



Figura 44: Anel de ferro de Faraday.

(Fonte: Tamworth Powerstation Museum)

O anel de ferro com enrolamentos foi a primeira bobina de indução (o primeiro transformador).

A segunda experiência de Faraday de importância ocorreu a 17 de outubro de 1831 e consistiu num fio de cobre isolado e enrolado em forma de hélice cujas extremidades estavam conectadas a uma espira que passava por debaixo de uma agulha magnética (fig.45). Quando se aproximava um íman cilíndrico do interior do enrolamento, a agulha magnética desviava-se num sentido e retornava à posição original. Quando se afastava a barra magnética, a agulha desviava-se em sentido oposto antes de retornar à posição inicial (o íman nesta experiência representava o circuito primário ou indutor, e substituíu a bobina, o anel e a bateria da primeira experiência). Por fim, manteve o íman fixo e movimentou o circuito elétrico, obtendo os mesmos resultados.

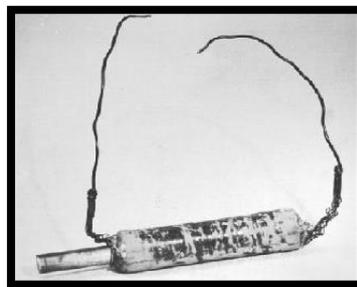


Figura 45: Bobina de Faraday.

(Fonte: Tamworth Powerstation Museum)

A terceira experiência significativa de Faraday ocorreu a 28 de outubro de 1831 e foi inspirada em Arago (na agulha magnética que oscilava diante de um disco de cobre em rotação). Nesta experiência, montou um disco de cobre que podia rodar entre os pólos de um íman em forma de ferradura (fig.46). Uma barra corredeira tocava o interior e a periferia do disco de cobre conectada a uma grande espira que passava sobre uma agulha magnética.



Figura 46: Íman em forma de ferradura e bobina.

(Fonte: Tamworth Powerstation Museum)

Quando o disco rodava num sentido, a agulha desviava-se num determinado sentido. Por outro lado, quando o disco rodava em sentido contrário, a agulha desviava-se em sentido oposto. Este foi o primeiro gerador de corrente contínua. Faraday também observou, nesta experiência, que haveria um vórtice de correntes induzidas no disco, entre os pólos do íman, como pensava Ampère. Estas correntes seriam radiais e perpendiculares ao movimento do disco (Darrigol, Olivier, 2000).

Nessa altura, Faraday questionava-se a si próprio sobre o que se passava no espaço entre o magnete e a bobina, por exemplo na segunda experiência. Entre Isaac Newton e Michael Faraday, a explicação para o facto de as forças atuarem no espaço vazio, entre objetos em interação, ainda não tinha sido dada. Michael Faraday imaginou então que o espaço entre ímanes e cargas elétricas estava eivado de tubos, não detetados a olho nu, que eram responsáveis quer pela atração quer pela repulsão magnética (esta ideia já a tivera, em 1738, Daniel Bernoulli, ao imaginar as linhas de correntes para explicar o escoamento de um fluido ideal em regime estacionário). Estas linhas emanariam de cargas elétricas e de magnetes. Daqui surge a noção de linhas de campo magnético. Faraday espalhou limalha de ferro sobre um íman em barra e observou as linhas de força curvas do campo magnético (fig.47), que, ao penetrarem o interior da bobina, originavam as correntes induzidas por variação do fluxo magnético.

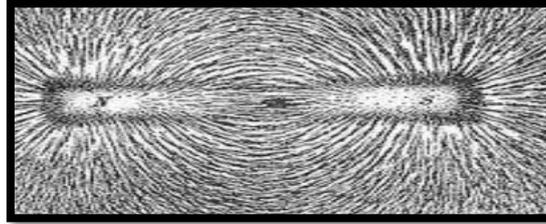


Figura 47: Linhas de força do campo magnético de um íman em barra.

(Fonte: Tamworth Powerstation Museum)

Uma experiência clássica, para demonstrar o que é um campo magnético, consiste em colocar sobre um íman em barra (ou em ferradura) uma folha grande de cartolina, e, de seguida polvilha-la com limalha de ferro, dando pequenos toques, com o indicador de uma das mãos, na folha de papel. Se depois traçarmos, sem retirar o íman e com auxílio de um lápis, as curvas descritas pela limalha de ferro, obteremos as linhas de força do campo magnético, criadas pelo íman, que constituem o espectro magnético (elas entram sempre pelo pólo sul e saem pelo pólo norte do íman; este facto pode verificar-se com uma agulha magnética com os pólos marcados). Se depois retirarmos a limalha de ferro e colocarmos uma agulha de ferro em cima da folha de papel, verificaremos que a agulha se orienta segundo a linha traçada. Este fato prova a existência de uma força. Também aqui há um par ação-reação: uma força magnética é exercida sobre a agulha de ferro e uma outra força magnética é exercida sobre o íman. Se depois colocássemos outra agulha de ferro muito distante da barra magnética, poderíamos verificar que ela não se orientaria em nenhuma direção, porque a intensidade do campo magnético diminui drasticamente com a distância.

A 24 de Novembro de 1831, Michael Faraday apresentou à *Royal Society* as suas descobertas: variando a corrente numa bobina indutora, uma corrente surgia na bobina induzida; o movimento relativo entre um magnete e uma bobina ou entre um magnete e um disco originava também correntes induzidas. Estes princípios são conhecidos pelas leis da indução eletromagnética de Faraday.

Hoje, sabemos, devido aos trabalhos de Faraday, que há três modos de se originarem correntes induzidas numa espira: por variação do campo magnético através de uma espira, por alteração da área de superfície da espira ou do ângulo que o campo magnético faz com a normal à seção plana da espira, e, por fim, movendo a espira ou o magnete.

➤ Joseph Henry

Joseph Henry foi professor de matemática e filosofia natural na *Albany Academy*, nos Estados Unidos da América, desde 1826 a 1832. Aí realizou as primeiras experiências de eletromagnetismo. A partir de 1832, exerceu o cargo de professor no College of New Jersey at Princeton (hoje, a Princeton University).

Desde 1826 a 1832, ainda na Albany University, levou a cabo uma série de experiências com eletromagnetes, trabalhando isoladamente e com poucos recursos. Em 1820 e logo após a descoberta de Oersted, tomou conhecimento da invenção do primeiro galvanómetro, instrumento que deteta e mede correntes elétricas, pelo alemão Johann Schweigger. Este galvanómetro ou multiplicador (como Schweigger lhe chamava) era constituído por uma bobina retangular formada por múltiplas espiras de fio isoladas, e, no seu interior, continha uma agulha magnetizada (fig.48). Este enrolamento de espiras permitia a criação de um campo magnético mais forte, se comparado com o campo criado pelo fio da experiência de Oersted, porque os campos magnéticos, criados pela corrente, em cada volta, na entrada e saída, são adicionados ao centro.

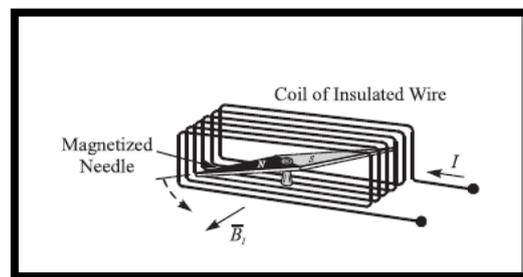


Figura 48: Galvanómetro baseado em Schweigger.

(Fonte: Smith, Glenn S., 2017)

Quatro anos depois, em 1824, William Sturgeon, na Inglaterra, construiu o primeiro eletromagnete prático, aumentando a sua sensibilidade para pequenas correntes (fig.49). Este eletromagnete era formado por uma barra de ferro em forma de ferradura, e, em torno do núcleo de ferro, estavam enroladas dezoito voltas de fio de cobre. Quando a corrente elétrica passava pelo fio de cobre, o núcleo de ferro ficava magnetizado, surgindo pólos magnéticos nas suas extremidades. Assim, poder-se-iam erguer barras de ferro.

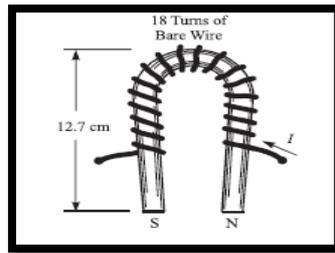


Figura 49: Eletromagnete baseado em William Sturgeon.

(Fonte: Smith, Glenn S., 2017)

Joseph Henry, que tomara conhecimento dos trabalhos de Johann Schweigger e de William Sturgeon, construiu, em 1828, um eletromagnete mais aperfeiçoado e capaz de erguer objetos de ferro mais pesados (fig.50).

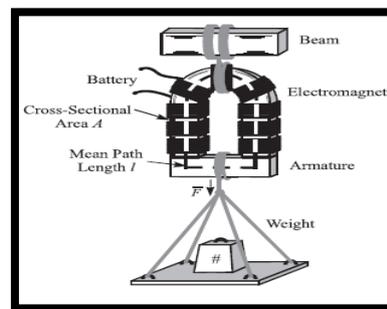


Figura 50: Eletromagnete baseado em Joseph Henry.

(Fonte: Smith, Glenn S., 2017)

Michael Faraday foi o primeiro a publicar os seus resultados sobre a indução eletromagnética, em dois artigos científicos datados de Abril de 1832. Henry também tinha observado a indução eletromagnética, usando os eletromagnetes, e escreveu uma nota sobre isso no mês de julho do mesmo ano.

Na sua experiência, Henry usou um eletromagnete com nove enrolamentos em paralelo ligados aos terminais de uma bateria (o circuito primário). Depois, colocou uma armadura presa ao eletromagnete e enrolou nela um fio isolado cujas extremidades estavam ligadas a um galvanómetro por copos cheios de mercúrio (o circuito secundário) (fig.51). O circuito era aberto e interrompido através da bateria, mergulhando ou retirando as placas de uma solução diluída de um ácido.

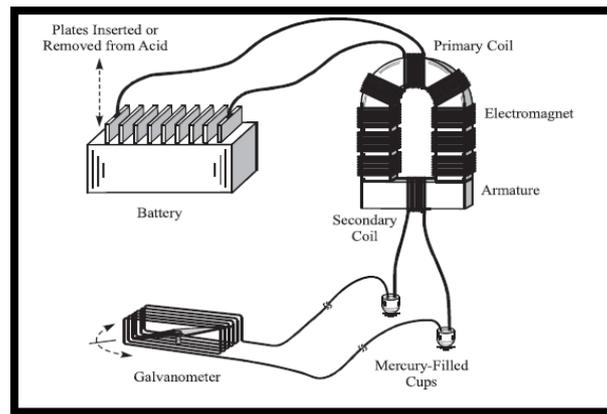


Figura 51: Experiência de indução eletromagnética de Joseph Henry.

(Fonte: Smith, Glenn S., 2017)

J. Henry observou, durante a execução experimental, que a agulha magnetizada do galvanómetro se movia ligeiramente no instante em que o seu assistente abria ou interrompia o circuito, e que o sentido do desvio, para estes dois casos, era oposto. Os efeitos do campo magnético no núcleo de ferro originavam, então, correntes elétricas breves no circuito secundário.

A experiência que Michael Faraday levou a cabo para a descoberta da indução eletromagnética é, como vimos anteriormente, semelhante a esta, embora, de acordo com alguns relatos, seja posterior (Smith, Glenn S., 2017 e Darrigol, Olivier, 2000).

➤ Heinrich Lenz

Heinrich Lenz (1804-1885), físico alemão, começou os seus estudos sobre a indução eletromagnética logo após a descoberta de Faraday. Três anos depois, em 1834, enunciou a regra para determinar o sentido da corrente induzida, a que nós chamamos de lei de Lenz (ou regra de Lenz): existe uma corrente induzida numa espira condutora apenas se o fluxo magnético que a atravessa variar. A direção da corrente induzida é tal que os efeitos do campo magnético induzido se opõem à variação de fluxo do campo magnético indutor. O físico alemão explicou-se do seguinte modo:

An induced current is always in such a direction as to oppose the motion or change causing it (Thompson, Frank, 2010).

when a metallic conductor [a wire] moves near a galvanic current or a magnet, a galvanic current is induced in a direction such that this current would have produced a motion of the wire [supposed initially] at rest in a direction opposed to that of its actual motion, provided that the wire at rest can only move in the direction of the [actual] motion or in the opposite direction (Darrigol, Olivier, 2000).

Depois de Heinrich Lenz, Franz Neumann, baseando-se na lei qualitativa do físico russo e das expressões de Ampère para as forças eletrodinâmicas, deduziu, em 1845, uma expressão matemática para a força eletromotriz induzida num fio condutor sujeito a uma força eletrodinâmica, percorrido por uma corrente e movendo-se a uma determinada velocidade. Ele é o principal responsável pela formulação matemática da lei de Lenz. Da sua dedução retirou dois princípios: a indução depende apenas do movimento relativo e a corrente integral depende apenas do estado inicial e final dos sistemas e das configurações dos corpos implicados (Darrigol, Olivier, 2000).

A denominada, *a posteriori*, lei de Faraday-Neumann, descreve-se pela variação temporal do fluxo magnético, e, atualmente, tem a seguinte formulação matemática:

$$\varepsilon = -\frac{d}{dt} \int_S \vec{B} \cdot \vec{u}_n dS$$

\vec{B} representa o campo magnético na zona de um circuito com área de seção S, \vec{u}_n o vetor unitário normal à superfície e ε a força eletromotriz induzida. Esta equação traduz o enunciado de Faraday, segundo o qual era preciso *variar o fluxo do campo magnético através de qualquer superfície que se pudesse considerar apoiada na espira* (Almeida, Maria José B. Marques de, 2004).

Considerando a experiência do íman que se aproxima e afasta de uma espira condutora ligada a um galvanómetro, para que exista uma corrente induzida na espira é necessário: que varie a indução magnética (B), a orientação relativa das linhas de campo e a área da espira condutora. Desta variação, torna-se necessário definir uma nova grandeza, o fluxo magnético, Φ . Para a definição de fluxo magnético é, então, necessário considerar um campo magnético uniforme de indução \vec{B} e uma espira condutora que delimita uma superfície plana com área A e vetor unitário

normal a essa superfície, \vec{u}_n . A amplitude do ângulo formado por \vec{u}_n e \vec{B} representa-se por θ (fig.52).

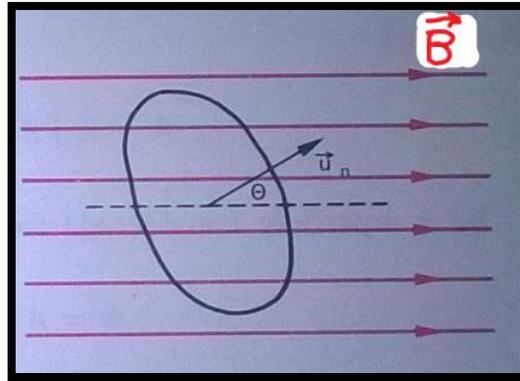


Figura 52: Espira num campo magnético uniforme, \vec{B} . O ângulo entre \vec{u}_n e \vec{B} é representado por θ .

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982). Imagem alterada pelo autor.)

Assim o fluxo magnético que atravessa uma espira condutora é dado por:

$$\Phi = A \vec{B} \cdot \vec{u}_n$$

E o valor escalar:

$$\Phi = A |B| \cos \theta$$

Se a superfície da espira for normal às linhas de campo, o módulo do fluxo magnético será dado por:

$$\Phi = A |\vec{B}|$$

Assim, se a superfície delimitada pela espira condutora é perpendicular ao campo magnético e o vetor \vec{B} tem o mesmo sentido de \vec{u}_n , $\theta = 0$, o valor escalar do fluxo magnético é dado por:

$$\Phi = A |\vec{B}|$$

Já se a superfície delimitada pela espira condutora é perpendicular ao campo magnético e o vetor \vec{B} tem o sentido contrário ao de \vec{u}_n , $\theta = 180$, o valor escalar do fluxo magnético é dado por:

$$\Phi = - A |\vec{B}|$$

Se considerarmos n espiras condutoras, em vez de uma espira condutora, o valor do fluxo magnético é o somatório dos fluxos que atravessam cada uma das espiras:

$$\Phi = \sum_1^n A B \cos \theta$$

A corrente elétrica induzida numa espira resulta da formação de uma força eletromotriz, ε , nesta, cujo valor é dada por:

$$\varepsilon = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Da equação resulta que a força eletromotriz é em módulo igual à variação do fluxo magnético por unidade de tempo, e que os valores da força eletromotriz, positivos ou negativos, indicam que o campo magnético da corrente induzida tem o sentido do vetor unitário normal à superfície da espira ou o sentido contrário. Esta equação representa matematicamente a lei de Faraday da indução eletromagnética. Dela retiramos as seguintes conclusões: primeiro, o sentido da corrente induzida é tal que se opõe à variação do fluxo magnético, e, essa corrente dura enquanto durar a variação do fluxo magnético que a origina; segundo, a força eletromotriz induzida é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético que atravessa a espira e inversamente proporcional ao intervalo de tempo em que essa variação ocorre (Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982).

A variação do fluxo magnético pode ocorrer de três modos: o campo magnético através da espira altera-se; a espira altera-se em área ou em ângulo (ângulo da normal com o campo magnético); a espira move-se para dentro ou para fora do campo magnético.

No caso de a variação do fluxo magnético não ser uniforme, isto é, de o valor da força eletromotriz não ser constante, a força eletromotriz instantânea, induzida numa espira, é dada por:

$$\varepsilon = - \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

A unidade de fluxo magnético é o weber, W , e define-se como a variação constante de fluxo que atravessa uma espira, durante um segundo, e induz nela uma força eletromotriz de 1 volt.

Para uma bobina com n espiras, a força eletromotriz é dada por:

$$\varepsilon = - n \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \Phi}{\Delta t}$$

A força eletromotriz induzida na bobina permite que em ela haja uma corrente elétrica induzida. O sentido da corrente elétrica induzida na bobina é tal que se oporá à variação do fluxo magnético que a produziu. Este enunciado traduz a lei de Lenz e remete-nos diretamente para o princípio de Le Châtelier e para o equilíbrio químico. Uma outra interpretação da lei de Lenz é a seguinte: se aproximarmos um íman de uma espira e se o fluxo magnético através dela aumentar, então a corrente induzida na espira opor-se-á a este aumento, criando um campo magnético com sentido contrário ao campo magnético indutor, e a corrente elétrica induzida terá o sentido contrário ao dos ponteiros do relógio. Se afastarmos um íman de uma espira e se o fluxo magnético através dela diminuir, então a corrente induzida na espira opor-se-á a esta diminuição, criando um campo magnético com o mesmo sentido do campo magnético indutor, e a corrente elétrica induzida terá o mesmo sentido dos ponteiros do relógio.

➤ Jéan Bernard Léon Foucault

F. Arago, na altura em que empreendeu uma experiência para a determinação do campo magnético terrestre na colina de Greenwich, descobriu que as oscilações de uma agulha magnética eram amortecidas quando ela estava numa caixa com um fundo de metal. Tal facto levou-o a conceber várias experiências com materiais magnéticos e não magnéticos e com agulhas magnéticas. Entre elas estava a da agulha magnética a oscilar diante de um disco de cobre em rotação, já referida anteriormente. Arago observou mesmo que um disco de cobre com ranhuras fazia diminuir a interação em relação ao disco compacto.

Em 1831, Michael Faraday, na sequência dos seus estudos de indução eletromagnética, explicou o que Arago observara:

quando uma peça metálica passa diante de um simples pólo ou entre os pólos opostos de um íman, ou perto de pólos electromagnéticos, (...) produzem-se correntes eléctricas através do metal, transversas à direcção do movimento (Guedes, Manuel Vaz, 2001)

No ano seguinte, L. Nobili e Antinori, verificaram que, num disco metálico a rodar entre os pólos magnéticos de um íman, as correntes induzidas eram contrárias às do pólo de um íman (Guedes, Manuel Vaz, 2001). Em 1855, e já depois das descobertas de Mayer, Joule e Helmholtz, Foucault procurou explicar o fenómeno com base na lei da conservação da energia. Para ele, em consequência do trabalho realizado para a rotação do disco, este último deveria aquecer pela indução de correntes, de acordo com o efeito de Joule. Para o provar, o engenhoso Foucault, em 1850, construiu um instrumento, onde um disco metálico de bronze rodava no interior de um campo magnético criado pelos pólos de um eletroímã, e concluiu que o disco aquecia devido às correntes (designadas por *eddy currents* em Inglaterra) que se passaram a designar em França por correntes de Foucault (fig.53).

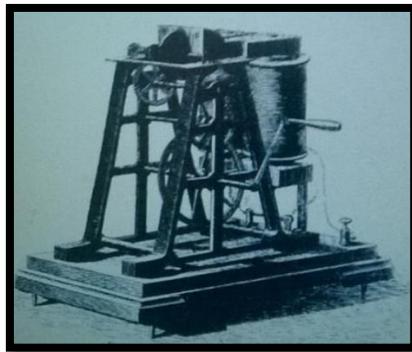


Figura 53: Experiência de Foucault.

(Fonte: Guedes, Manuel Vaz, 2001)

Terminamos este subcapítulo sublinhando, de novo, que o conhecimento dos factos da história da química e as atividades laboratoriais são essenciais para ensinarmos. Robert Boyle, para deduzir a lei com o seu nome, usou um longo tubo de vidro, em forma de J, com o lado menor lacrado. Depois, introduziu nele mercúrio, retendo ar no lado mais estreito do J, e observou que, quanto mais deitava, mais o ar era comprimido. Isto permitiu que chegasse à seguinte conclusão: o volume de uma quantidade química fixa de gás diminui quando a pressão sobre ele aumenta. Para além disso, traçou uma tabela com os valores da pressão e de $1/\text{volume}$. Ora, esta atividade laboratorial poderia perfeitamente ser realizada em sala-de-aula, nos dias que correm, tendo em consideração que o mercúrio é tóxico.

5. História da Experiência de Oersted e de Faraday em Rómulo de Carvalho

A descoberta científica está também presente em “*Magnetismo e Eletromagnetismo*” (volume 14 dos Cadernos de Iniciação Científica) (fig.54) e no manual “*Física, para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*” (fig.55). Aqui, cada descoberta científica é-nos apresentada não como um acontecimento isolado, mas, antes, associado a uma dinâmica que envolve vários cientistas.

Em muitos livros didáticos, a descoberta é mostrada como um evento instantâneo e atribuída a um único cientista. De acordo com a contemporânea filosofia da ciência, porém, uma descoberta é mais bem caracterizada como um processo que pode se prolongar no tempo e que se desenvolve no âmbito de uma comunidade científica (Fernandes, Maria & Paulo Porto, 2012).

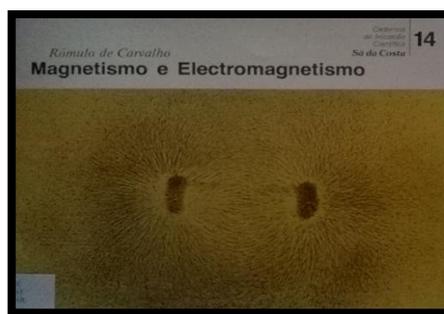


Figura 54: Capa do livro “*Magnetismo e Eletromagnetismo*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1983b)



Figura 55: Capa do livro “*Física, para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*”.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

No que se refere à experiência de Oersted, de 1820, Rómulo de Carvalho, em “*Magnetismo e Eletromagnetismo*”, começa por descrever o contexto em que ocorreu a descoberta, fortuita, do desvio de uma agulha magnética colocada paralelamente sob um fio condutor de corrente elétrica. O físico dinamarquês procurava, através da experiência, verificar a hipótese de que a corrente elétrica atuaria sobre agulhas magnéticas colocadas perpendicularmente a um fio condutor, o que não acontecia.

Foi por esse motivo que em certo dia, numa aula da Universidade de Copenhague, na Dinamarca, um professor de Física falou aos seus alunos sobre aquele estranho caso. Tinha na mesa da sala de aula uma agulha magnética e também uma pilha que servia de fonte de energia elétrica a um circuito que tinha montado. O professor insistia na sua convicção, que era a de muitos outros investigadores, de que a corrente elétrica deveria ter qualquer ação sobre agulhas magnéticas. Mais uma vez, como em tantas outras vezes nas suas aulas, o professor pegou num troço de fio condutor que estava a ser percorrido pela corrente elétrica da pilha, e aproximou-o da agulha para confirmar que nada acontecia. Dessa vez, porém, a agulha rodou rapidamente em torno do seu eixo vertical!

Que se passou nesse dia para que o resultado da experiência, tantas vezes repetida, tivesse sido diferente?

Tudo se deveu a um simples movimento de mãos que o professor, até aí, por acaso nunca tinha feito. Pensava o professor que se a corrente elétrica tivesse alguma ação sobre a agulha magnética deveria manifestá-la colocando o fio condutor sobre a agulha perpendicularmente à sua posição maior. Ora sucede que é exatamente essa a posição em que o efeito da corrente elétrica sobre a agulha, efeito que realmente existe, não se observa. Naquele dia, porém, o professor fez um gesto mais despreocupado e colocou o fio sobre a agulha, paralelamente a ela. Foi então que se viu a agulha rodar em torno do seu eixo vertical (Carvalho, Rómulo de, 1983b).

No manual escolar, *Física para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*, acrescenta-se mais uma observação importante: se se desligasse um interruptor, deixando de passar corrente elétrica no fio condutor, a agulha magnética voltaria à sua posição inicial, paralela ao fio (fig.56). Assim, estava aberto o caminho para a noção de campo magnético.

Em 1920, o físico dinamarquês Oersted (1777-1851) fez casualmente uma observação que iria ter consequências importantes no desenvolvimento da Física: ao fazer passar uma corrente num condutor notou que a posição de equilíbrio de uma agulha magnética que estava nas proximidades, era alterada: a agulha retomava a posição inicial ao ser interrompida a corrente no condutor. Estabeleceu-se assim, pela primeira vez, uma relação entre fenómenos elétricos e magnéticos.

A experiência mostra que uma corrente elétrica provoca determinadas alterações nas propriedades do espaço à sua volta, o que se pode pôr em evidência colocando, num ponto qualquer da referida zona do espaço, um corpo de prova adequado que pode ser uma pequena agulha magnética: a posição de equilíbrio em que esta fica não é a mesma que toma quando a corrente é interrompida. Diz-se então que a corrente, tal como sucede com um íman, cria no espaço à sua volta um campo magnético (Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982).

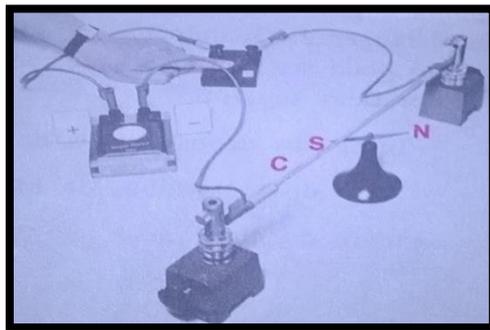


Figura 56: Dispositivo experimental para testar a experiência de Oersted.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

A transição da experiência de Oersted para a experiência de Ampère, em “*Magnetismo e Eletromagnetismo*”, mostra-nos como a ciência é feita: os cientistas apoiam-se nas descobertas anteriores validadas pela comunidade científica, no sentido de as aperfeiçoarem ou de as refutarem.

Foi grande o número de investigadores que, após a descoberta de Oersted, se dedicaram à exploração da nova aquisição científica, e quando findou esse ano de 1820 já muito se tinha progredido no estudo do eletromagnetismo. Desses investigadores

merece menção especial o físico francês André-Marie Ampère (Carvalho, Rômulo de, (1983b).

André-Marie Ampère, debruçando-se sobre a descoberta de Oersted, colocou uma nova hipótese: se uma corrente elétrica cria um campo magnético ao seu redor, que depois desvia uma agulha magnética colocada paralelamente à corrente, então um ímã poderá também ter ação sobre a corrente elétrica, fazendo mover um fio condutor. Colocada a hipótese, passou-se ao domínio da experimentação; para isso, foi necessário conceber um dispositivo experimental.

Para o efeito imaginou Ampère a montagem de um circuito elétrico no qual figurasse uma porção de fio condutor disposto de tal modo que fosse suscetível de se mover em torno de um eixo, por analogia com as agulhas magnéticas. Fazendo então passar a corrente elétrica pelo fio condutor, e aproximando dele um ímã, o fio deveria rodar em torno do seu eixo (Carvalho, Rômulo de, 1983b).

A experiência permitiu-lhe fazer as seguintes observações: assim que se aproximava um ímã do fio condutor, este último rodava, e o sentido da rotação dependia do pólo do ímã que se aproximava e do sentido da corrente elétrica no fio. O ímã atuava, assim, sobre correntes elétricas.

O físico britânico, Michael Faraday, foi o próximo a refletir sobre as experiências de Oersted e de Ampère, e sugeriu a hipótese de se produzirem correntes elétricas a partir de ímãs.

Meditando sobre as experiências de Oersted, de Ampère e de outros físicos seus contemporâneos, experiências que permitiam obter efeitos magnéticos a partir de correntes elétricas, perguntou Faraday a si mesmo se não seria possível fazer-se ao contrário, isto é, obter correntes elétricas a partir de ímãs. Teimou na sua ideia, na aparência extravagante, durante alguns anos, e conseguiu o que pretendia (Carvalho, Rômulo de, 1983b).

À semelhança de Ampère, Faraday concebeu uma experiência com uma bobina, onde os terminais estavam ligados a um galvanômetro, e um ímã que se aproximava ou afastava da mesma (fig.57). Neste caso, não era induzida qualquer corrente elétrica na bobina se o ímã estivesse em repouso, isto é, se o fluxo das linhas do campo magnético, criado pelo ímã, não se alterasse.

Descobriu Faraday que introduzindo numa bobina, ou retirando dela, o pólo norte ou o pólo sul de um magnete, se gera na bobina uma corrente elétrica. É claro que para se detetar a presença desta corrente deverá ter-se ligado a bobina a um galvanómetro. Reconhece-se assim que quando se introduz nela um pólo norte a corrente gerada na bobina tem, na face externa da espira em que se introduziu esse pólo, o sentido chamado «direto», ou seja, o sentido contrário dos ponteiros de um relógio. Retirando o magnete, isto é, retirando, neste caso, o pólo norte do interior da bobina, a corrente gerada tem sentido contrário ao anterior. Trabalhando com o pólo sul as situações invertem-se: introduzir na bobina um pólo sul produz o mesmo efeito do que retirar dela um pólo norte; retirar um pólo sul, produz o mesmo efeito do que introduzir um pólo norte. (É claro que tudo se processaria de modo análogo se em vez de se mover o magnete introduzindo-o na bobina e retirando-o dela, portanto com esta parada, se fizesse o contrário, isto é, se se mantivesse o magnete parado e se movimentasse a bobina, para lá e para cá, ao longo do magnete colocado no seu interior) (Carvalho, Rómulo de, 1983b).

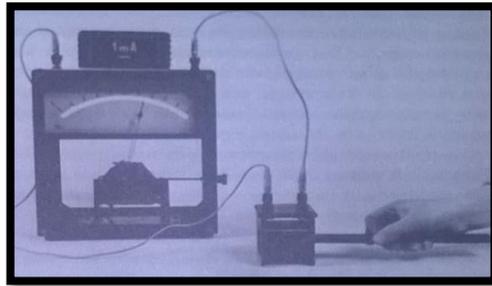


Figura 57: Dispositivo experimental para a realização da experiência de Faraday.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1983b)

Faraday iniciara os seus trabalhos em 1821 e só em 1831 descobriu que uma corrente elétrica podia ser produzida por ação de um campo magnético criado por um magnete em movimento. Joseph Henry, físico norte-americano, também chegou à mesma conclusão, de modo independente e trabalhando com Gerritt Moll em eletromagnetes, mas publicou o seu trabalho depois de Faraday, como se lê no manual escolar de “*Física para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*”:

O físico inglês Michael Faraday (1791-1867) levou a cabo, durante largo tempo, uma série exaustiva de experiências na tentativa, repetidamente falhada, de observar aquele fenómeno. Foi só em 1831, quase simultaneamente com o físico norte-americano Henry

(1797-1878), que trabalhava nos Estados-Unidos, que Faraday conseguiu o seu objetivo: ao estabelecer ou ao interromper uma corrente elétrica num circuito, fazendo, assim, variar o campo magnético nas vizinhanças desse circuito, observou o estabelecimento duma corrente, num circuito fechado, próximo do primeiro (Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982).

Em “*Magnetismo e Eletromagnetismo*” as experiências de Oersted e Faraday são apresentadas no seu contexto científico e como consequência uma da outra, isto é, num processo dinâmico. Rómulo de Carvalho procura explicá-las recorrendo-se do uso do método científico por parte dos cientistas citados.

Como anteriormente referimos, o ensino da evolução dos conceitos é de extrema importância para a aprendizagem das Ciências Físico-Químicas. No tempo de Oersted ainda não se conheciam os conceitos de eletricidade estática, de eletrodinâmica e de campo magnético. Nem se sabia que a matéria era constituída por elétrons carregados negativamente, esta última descoberta pertenceu a J. J. Thomson, usando um tubo de raios catódicos. Em “*Magnetismo e Eletromagnetismo*” há a preocupação de esclarecer os conhecimentos que se tinham à data da descoberta de Oersted:

Notemos que nos condutores eletrizados, como numa vareta de vidro friccionada, as cargas elétricas estão em equilíbrio, são estáticas, enquanto na corrente elétrica as cargas estão em movimento. Aqui estará o segredo da questão: são as cargas elétricas em movimento que produzem campos magnéticos. Sem esta condição de movimento as cargas elétricas não têm efeitos magnéticos. Note-se que o físico dinamarquês desconhecia, como todos os do seu tempo, a natureza corpuscular da eletricidade, nem sabia o que era a Eletrostática e a Eletrodinâmica (Carvalho, Rómulo de, 1983b).

No livro de história da ciência, *História do Telefone* (fig.58), com uma capa belíssima que me faz lembrar alguns desenhos de George Grosz, Rómulo de Carvalho faz um paralelismo entre os avanços científico-tecnológicos, no domínio da acústica e do eletromagnetismo, e, apresenta, frequentemente, imagens e representações dos dispositivos experimentais usados, explicando-os, que proporcionaram a descoberta do telefone por Alexander Bell, em 1876. Por exemplo, para se fazer mover um diapasão, foi necessário que se produzissem eletromagnetes (uma barra de ferro macio era magnetizada quando colocada dentro de uma bobina percorrida por uma corrente; se se interrompesse a corrente, a barra perderia a magnetização). A produção destes

resultou dos trabalhos de André-Marie Ampère. Mas, como é que um eletromagnete moveria um diapasão? Rómulo de Carvalho começa por apresentar uma representação de um circuito elétrico com uma bateria, um interruptor e um diapasão com as duas varas entre os pólos de um magnete (fig.59), e, depois, explica o seu fim (a campainha elétrica):

De início o circuito está interrompido por falta de contacto no interruptor I, e, portanto, não há corrente elétrica. Ligamos o interruptor. A corrente elétrica passa pelo fio do eletromagnete, magnetiza o ferro e este atrai as duas extremidades do diapasão aproximando-as de si, sem chegarem ao contacto. Se desligarmos o interruptor, o eletromagnete perde o magnetismo e os ramos do diapasão regressam à posição normal. Se ligarmos e desligarmos o interruptor sucessivamente, o fenómeno repete-se identicamente, e as hastes do diapasão vibram. Se vibram, produzem um som (Carvalho, Rómulo de, 1962).

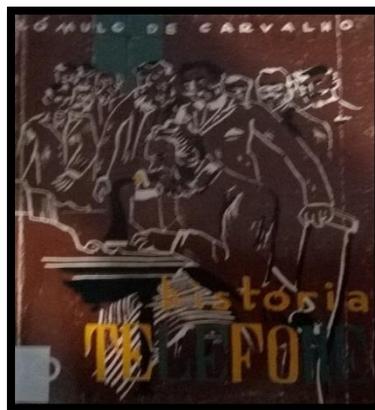


Figura 58: Capa do livro “História do Telefone”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1962)

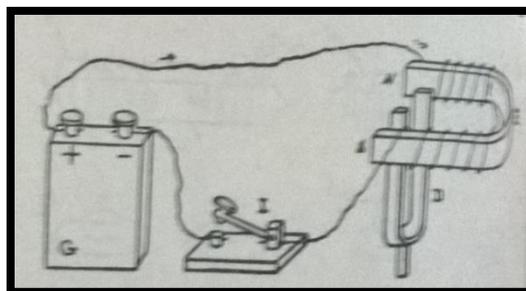


Figura 59: Diapasão entre os pólos de um eletromagnete.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1962)

Uma outra descoberta decisiva para a invenção do telefone foi a da indução eletromagnética por Michael Faraday. Uma vez mais, Rómulo de Carvalho recorre à representação de um circuito (fig.60), com um galvanómetro ligado às extremidades de uma bobina e um magnete, para a explicar. Assim que se introduz o magnete no interior da bobina a *agulha do amperímetro se desloca provando assim que o circuito foi percorrido por uma corrente eléctrica embora nele não exista nem pilha nem gerador de qualquer espécie* (Carvalho, Rómulo de, 1962). Ora, se introduzirmos o magnete no interior da bobina, o pararmos aí, o retirarmos e o pararmos de novo, a agulha desviar-se-á para um lado, regressará ao zero, desviar-se-á para o outro lado e voltará a regressar ao zero. Esta observação é devida à corrente que, na aproximação e no afastamento do magnete, percorre o circuito em dois sentidos, e que é alternada.

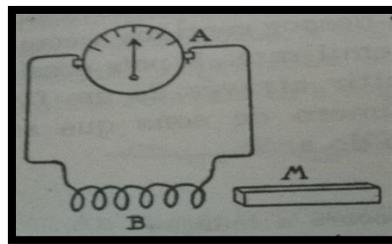


Figura 60: Circuito para indução eletromagnética: aproximação de um magnete ao interior de uma bobina.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1962)

Neste ponto, Rómulo de Carvalho adverte que esta não era a única maneira de se obter tal corrente. A indução eletromagnética também se obtém por aproximação de um eletromagnete a um magnete (fig.61) ou vice-versa.

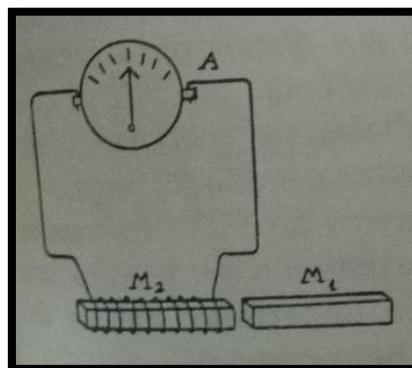


Figura 61: Circuito para indução eletromagnética: aproximação de um magnete a um eletromagnete.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1962)

Esta descoberta foi decisiva para a reprodução elétrica da fala. Até à data apenas se conseguiam reproduzir eletricamente sons de instrumentos como o diapasão. A solução estava na substituição do magnete por uma lâmina magnetizada e vibrante (fig.62). E, se imaginarmos, uma outra lâmina defrente para a outra extremidade do magnete, a vibração mecânica da primeira pode ser reproduzida.

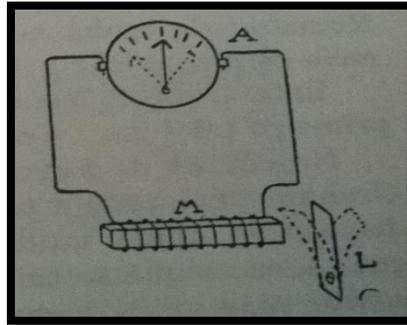


Figura 62: Substituição do magnete por uma lâmina magnetizada que pode vibrar.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1962)

O dispositivo que Alexander Bell inventou era fundamentado nestas descobertas científicas (fig.63).

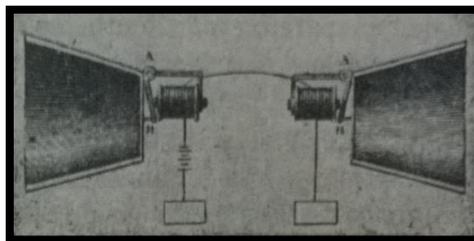


Figura 63: Desenho, apresentado por A. Bell, do seu telefone.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1962)

Em sala-de-aula tanto podemos abordar a indução eletromagnética através das suas aplicações imediatas (mais adiante falaremos também na descoberta das ondas de rádio), isto é, usarmos um método indutivo, como, em alternativa, apresentarmos primeiro em que consiste a indução eletromagnética e, depois, entrarmos no campo das suas aplicações imediatas. Em ambos os casos, não desdenhamos os marcos históricos da indução eletromagnética, pelo contrário, são comunicados aos alunos, através das imagens deste livro, e explicados, recorrendo, se for necessário, às explicações de Rómulo de Carvalho.

Sobre o historiador de ciência, Rómulo de Carvalho, e o livro, *História do Gabinete de Física Pombalino da Universidade de Coimbra* (fig.64), Carlos Fiolhais diz-nos que *bastaria ter editado este livro (...) para a Biblioteca geral da Universidade de Coimbra ter ganho um lugar na história da edição nacional, na história da ciência e na história da cultura*. E que *é um verdadeiro tesouro o que ele nos revela* (Fiolhais, Carlos *et al*, 2008). Neste livro, que abrange o período de tempo da fundação da Universidade de Coimbra, em 1772, até ao jubileu do professor italiano Antonio Dalla Bella, em 1790, Rómulo de Carvalho apresenta um capítulo, dedicado ao magnetismo, onde enumera o material existente na altura, no Gabinete de Física, e os estudos para os quais estava destinado. Aí se encontravam magnetes naturais, esferas e cilindros de ferro, agulhas de latão, bússolas, magnetes em barra, circulares e em ferradura, limalha de ferro, areia negra (suponho que seja areia com óxido de ferro), e lâminas de aço, que eram usados para o estudo da ação do poder magnético sobre o ferro, da variação da intensidade da força atrativa de acordo com a distância entre dois corpos magnetizados, da ação da Terra sobre os magnetes naturais e agulhas, do modo de conhecer o caminho dos fluídos visualizando os espectros magnéticos (à data, considerava-se que existiam dois fluidos magnéticos: o que saía de um pólo e o que entrava no outro), o paralelismo entre fenómenos elétricos e magnéticos e os modos de magnetização de agulhas e lâminas por magnetes naturais. Em relação ao estudo referido por último, podemos ler no livro:

O experimentador, sentado, segurava a barra entre os joelhos mantendo-a em posição quase vertical e friccionava a lâmina de aço com as extremidades da pinça, movendo esta sempre no mesmo sentido, de baixo para cima. Repetida a mesma operação uma dúzia de vezes em cada face da lâmina, esta adquiria a magnetização suficiente para sustentar, por atração, uma chave pequena. A extremidade da lâmina que estivera voltada para baixo durante a fricção, sempre efetuada de baixo para cima, adquiria magnetismo norte (O modo de magnetização, denominado de magnetização pelo processo de Canton, é um dos problemas, presentes no livro “*A Física no Dia-A-Dia*”, que o amigo, sob olhar e a direção do mestre, procura resolver) (Carvalho, Rómulo de, 1978).

Anteriores às grandes descobertas de Oersted, Ampère e Faraday, estes estudos podem ser referidos em sala-de-aula, pelo professor, para que o aluno veja a ciência como um processo dinâmico, onde os conceitos se vão clarificando. A noção que hoje temos de campo magnético e de linhas de força (as linhas são fechadas) é bem diferente da de *torrentes de eflúvios*

magnéticos (Carvalho, Rómulo de, 1978), apesar de, naquela altura, já se observarem espectros magnéticos de ímanes.

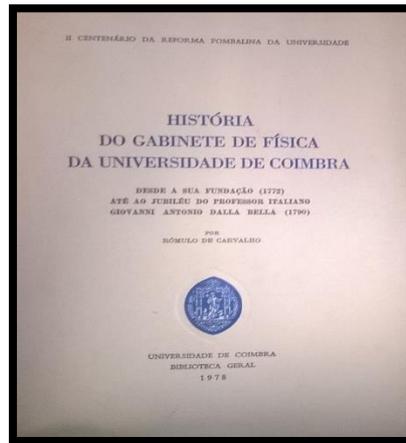


Figura 64: Capa do Livro “*História do Gabinete de Física da Universidade de Coimbra*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1978)

No que se refere aos materiais enumerados no livro, podemos encontrá-los, atualmente, no Museu de Física da Universidade de Coimbra (fig.65), que teve a sua origem no Gabinete de Física Experimental. Para Carlos Fiolhais, neste museu *arte e ciência aparecem juntas* e, para além da beleza indizível dos instrumentos, nele se fundem a ciência e a técnica (Fiolhais, Carlos *et al*, 2008). Para não acrescentarmos mais, dizemos apenas que este museu é tantalizante e inolvidável. Aqui se encontram dispositivos experimentais, como a Mesa de Ampère ou a Agulha Magnética de Oersted, de incomensurável valor científico-cultural e didático. Ora, é da obrigação de um professor de Física, no exercício da sua atividade, visitar, com os seus alunos, este museu, onde a luz vítrea e o marrom da madeira projetam o olhar para um tempo tão longínquo, mas que permanece avassaladoramente.



Figura 65: Museu de Física da Universidade de Coimbra.

(Fonte: Fotografia do autor.)

6. A Química e a Física no Dia-A-Dia

Pigmalião via tantos defeitos nas mulheres que acabou por abominá-las, e resolveu viver solteiro. Era escultor e executou, com maravilhosa arte, uma estátua de marfim, tão bela que nenhuma mulher de verdade com ela poderia comparar-se.

Thomas Bulfinch

(Bulfinch, Thomas, 2002)

A aprendizagem escolar ganha em ser contextualizada nas vivências quotidianas e concretas dos alunos e nas suas experiências pessoais e sociais, verificando-se, de acordo com a investigação, um incremento da motivação e ganhos académicos. Duas teorias que sustentam a afirmação anterior são a “pedagogia crítica” de Giroux e a “aprendizagem situada”. Se a primeira valoriza a experiência do aluno como ponto de partida para desenvolver uma consciência crítica, a segunda deseja situar o saber dos alunos na prática, tendo como ponto de partida as experiências sociais e pessoais dos alunos (Festas, Maria Isabel Ferraz, 2015).

Em 1968, Rómulo de Carvalho publicou o livro “*Física Para O Povo*”, que, alguns anos mais tarde, conheceria uma versão nova, *A Física No Dia-A-Dia* (fig.66). Decerto preocupado com a iliteracia científica de quem por razões económicas não podia estudar, Rómulo de Carvalho apresenta, nestes livros, várias situações (envolvendo diversos tipos de espelhos, lentes, o arco-íris, ímanes, bússolas, lâmpadas elétricas de filamento, termómetros e balões de hidrogénio, e abrangendo diversas áreas temáticas: mecânica, eletricidade, eletromagnetismo, luz e som) com que indivíduos, curiosos e sem nenhuma formação académica, se deparam no quotidiano e se interrogam, e, para as quais, gostariam de encontrar uma explicação científica. Como o próprio escreveu: *Pus-me assim a pensar sobre várias coisas que o meu amigo poderá ter observado na sua vida diária e que talvez gostasse de saber explicar* (Carvalho, Rómulo de, 1995). Tendo em consideração o destinatário do livro, a explicação que é dada é sempre simples e clara, desviando-se amiúde da linguagem científica. O objetivo é, todavia, sempre o mesmo: aumentar o conhecimento destes indivíduos, saciando-lhes a curiosidade. André Gide considerava que a sua felicidade estava em aumentar a felicidade dos outros. Para Rómulo de Carvalho, a felicidade estava em ampliar o conhecimento dos outros e em despertá-los para a ciência. Assim, selecionou um conjunto de situações do dia-a-dia, estudadas há muito tempo pelos

cientistas, para que as respostas dadas a elas, através de uma pedagogia diretiva, não fossem ambíguas.

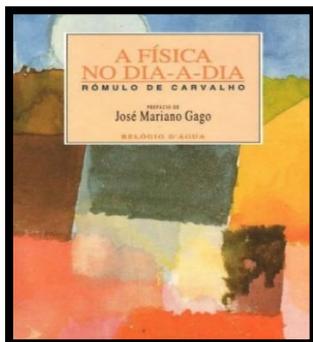


Figura 66: Capa do livro “A Física No Dia-A-Dia”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1995)

6.1 Eletrólise de uma Solução Diluída de Ácido Acético e de uma Solução Diluída de Cloreto de Sódio

A eletroquímica é, principalmente, um trabalho da área da química, como escreveu N. Monroe Hopkins em “*Experimental Electrochemistry*”:

It should be constantly borne in mind that electrochemistry is primarily the work of the chemist. The application of the electric current and its control, although of vital importance, is subordinate to the purely chemical side. Electrochemical operations are essentially chemical and based upon purely chemical changes, and it is only the man with a broad and keen insight into theoretical chemistry who can ever hope to make a successful electrochemist or electrochemical engineer. Nevertheless a thorough working knowledge of electricity is today absolutely necessary for success. Electrochemical science is only to be mastered by the man with a chemical and physical equipment (Hopkins, M. Monroe, 1907).

No domínio da eletroquímica, a eletrólise é umas das experiências que podemos fazer em sala de aula e com recurso a material acessível. No 12.º ano de escolaridade, podemos realizar a

eletrólise de uma solução de cloreto de sódio, depois da eletrólise da água e de uma solução diluída de vinagre e antes da reação do ferro metálico com uma solução de sulfato de cobre.

Um das situações que Rómulo de Carvalho aborda é a explicação da cromagem, usando o método científico, para elucidação, e uma metodologia de experimentação e feedback permanente. Para isso, começa por questionar o seu amigo, iletrado cientificamente, no sentido de lhe despertar a atenção e avivar a memória:

O meu amigo sabe que os automóveis têm muitas peças brilhantes, de metal, que foram «cromadas». Sabe o que é isso de cromar e como é que se faz?» (Carvalho, Rómulo de, 1995)

A questão colocada não é feita à-toa: o crómio é um metal e tem como propriedade física o brilho metálico intenso. De seguida, propõe ao seu amigo a realização de uma montagem para realizar uma experiência (fig.67), servindo-se de um copo com água, de uma pilha seca e de dois fios condutores:

O que tem a fazer é simplesmente ligar dois fios compridos, cada um ao seu pólo da pilha, e depois introduzir na água do copo as outras duas extremidades livres dos fios (...) Evidentemente que as pontas dos fios que mergulham na água devem estar a descoberto... (Carvalho, Rómulo de, 1995)

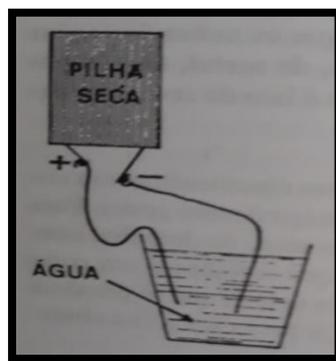


Figura 67: Montagem para a eletrólise da água.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1995)

Depois do amigo ligar os fios e de introduzir as extremidades livres na água (de fechar o circuito), Rómulo de Carvalho dirige-lhe os sentidos para que se foquem no essencial, isto é, na superfície metálica dos fios mergulhados em água:

Olhe bem. Não está a ver formarem-se umas bolhazinhas em redor de um deles? Repare. Note que as bolhas se vão desenvolvendo cada vez mais. (...) o meu amigo assiste à libertação de bolhas gasosas que se desprendem do fio condutor e sobem até à superfície da água.

E no outro fio sucede alguma coisa? É possível que note também aí alguma bolha gasosa, mas, se notar, será uma lá de vez em quando, e nada que se pareça com o que está acontecendo no outro fio (Carvalho, Rómulo de, 1995).

O amigo sabe agora que, por meio da corrente elétrica, ocorreu uma transformação química. O próximo passo a ser executado será a colocação de vinagre no copo e a agitação suave da mistura (fig.68). Uma vez mais, Rómulo de Carvalho pede-lhe que o faça, volte a fixar o olhar nas extremidades dos fios mergulhadas na mistura e compare as observações efetuadas para a água com as da mistura de água e vinagre:

Notou alguma diferença? Certamente notou que a libertação das bolhas gasosas se desenvolveu muito mais e que até chegam a formar pequenas nuvens que sobem pelo líquido. Tudo isto sempre no mesmo fio. No outro ou se desenvolvem pequenas bolhas ou nem mesmo se chega a notar nada (Carvalho, Rómulo de, 1995).

Uma vez que um fio está ligado ao pólo positivo da pilha e o outro ao pólo negativo, Rómulo de Carvalho questiona o amigo sobre em que fio se dá uma abundante libertação de bolhas (no fio ligado ao pólo negativo), e sugere-lhe que troque os fios e volte a observar as bolhas no fio ligado ao pólo negativo. Essa libertação ocorrerá sempre no fio ligado ao pólo negativo, e essa é a primeira conclusão a retirar:

Se quiser que apareçam muitas bolhas na ponta do outro fio experimente a troca de pólos, isto é, ligar esse fio ao pólo negativo, e o outro ao positivo.(...) A conclusão é sempre a mesma: as bolhas abundantes formam-se no fio que está ligado ao pólo negativo (Carvalho, Rómulo de, 1995).

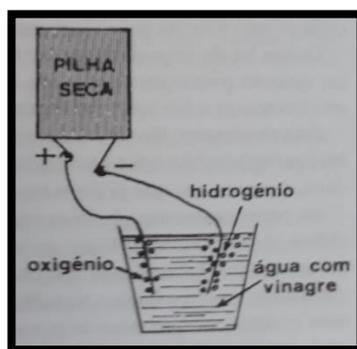


Figura 68: Eletrólise da solução de vinagre.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1995)

Uma vez aqui chegados, é plausível que o amigo lhe pergunte pela natureza e origem do gás:

Mas que bolhas são essas? – perguntará o meu amigo. Serão vapor de água. Não são. Essas bolhas são de um gás que se chama hidrogênio. Mas de onde vem esse hidrogênio? Vem da água (Carvalho, Rómulo de, 1995).

A água, constituída por átomos de hidrogênio e de oxigênio, pode ser decomposta em duas substâncias elementares gasosas, o oxigênio (libertado no fio ligado ao pólo positivo) e o hidrogênio (libertado no fio ligado ao pólo negativo) (fig.68) (a reação inversa também é possível: obter água a partir dos dois gases). De novo, coloca-lhe outra questão, dizendo respeito ao número de bolhas libertadas em cada um dos fios, e expõe duas razões:

Por que será tão grande a diferença entre as duas quantidades dos gases que se desenvolvem? Há duas razões para ser assim. Uma delas é porque o hidrogênio existe na água em maior quantidade, em volume, do que o oxigênio e por isso produz muito mais bolhas no fio em que se liberta. Outra razão é porque o oxigênio se dissolve na água, e o hidrogênio não, de modo que o oxigênio à medida que se forma, logo desaparece, ou até nem mesmo se chega a ver formar (Carvalho, Rómulo de, 1995).

Concluída a experiência, propõe ao amigo uma experiência semelhante. Agora, em vez do vinagre, o amigo terá de usar sal das cozinhas dissolvido em água. Assim que se inicia a eletrólise, volta a pedir ao amigo que observe o que está a suceder na extremidade do fio de cobre ligado ao pólo negativo e explica-lhe que o gás libertado continua a ser o hidrogênio e que são libertadas muitas mais bolhas.

Que observa? Ah! Agora sim! Agora é que é bonito! As bolhas gasosas desenvolvem-se com grande rapidez e sobem à superfície sem descanso, umas atrás das outras. Observe o espectáculo, que é interessante, e torne a reparar que o fio em que aparecem as bolhas é, como disse há pouco o que está ligado ao pólo negativo da pilha. O gás que se liberta continua a ser o hidrogénio embora tenha deitado na água uma substância diferente, agora o sal e há pouco o vinagre (Carvalho, Rómulo de, 1995).

De seguida, pergunta-lhe se ele não observa mais nada de relevante e convida-o a estar atento ao que acontece na extremidade do fio de cobre ligada ao pólo positivo. Ela está coberta por um pó branco e ligeiramente amarelado, o cloreto de cobre.

E não nota mais nada de especial? Olhe bem. Repare na ponta do outro fio, no que está ligado ao pólo positivo. Lembre-se que nas últimas experiências não se observava nada nesse fio ou, quando muito uma ou outra bolha que se formava com dificuldade. E agora? Bolhas não nota, pois não? Mas nota certamente que o fio mergulhado já não tem a cor que tinha. Está branco, talvez um pouco amarelado (Carvalho, Rómulo de, 1995).

Rómulo de Carvalho acaba de explicar ao amigo, socorrendo-se de três experiências, do essencial a reter na eletrólise: por ação da corrente elétrica, as substâncias dissolvidas em água são transformadas em outras substâncias. Há uma reação química. Também, por eletrólise, se explicam fenómenos como a cromagem ou a niquelagem:

As peças cromadas são feitas geralmente de latão, que também se chama metal amarelo. Para se cromarem metem-se as peças num banho, dentro de uma tina que corresponde ao copo com água com que o amigo esteve a trabalhar. Esse banho há de ter dissolvida uma substância que contenha um certo metal chamado crómio, a qual corresponde ao sal que há pouco deitou na água. A peça que se quer cromar liga-se ao pólo negativo da instalação elétrica e mergulha-se no líquido. Ao outro pólo liga-se uma chapa do mesmo metal crómio que se coloca perto da peça, e também mergulhada no líquido. Quando se liga a corrente, a peça vai aparecendo coberta de crómio, pouco a pouco, do mesmo modo que, na sua experiência, apareceu uma ponta do fio coberta de um pó branco (Carvalho, Rómulo de, 1995).

Para complementar a aprendizagem, sugere ao amigo que realize outra experiência. Para tal precisa apenas de uma tina com água, sulfato de cobre (o que se usa para sulfatar as vinhas), e

uma chave de ferro ou um prego de ferro (fig.69). O sulfato de cobre é dissolvido em água e, depois, a chave é mergulhada na solução e retida aí durante dez minutos. Depois de retirar a chave da solução, o amigo observa que a superfície da chave, que esteve em contato com a solução, está avermelhada, da cor do cobre. Por fim, o autor explica o que se passou, realçando que esta reação não necessitou da corrente elétrica, sendo espontânea:

O que se passou? O meu amigo tinha na solução o sulfato de cobre, que é um produto, como o nome indica, que contém cobre. Pois foi o cobre aí existente que veio depositar-se sobre o ferro que mergulhou no líquido. Nem precisou de corrente elétrica para conseguir este resultado (Carvalho, Rómulo de, 1995).

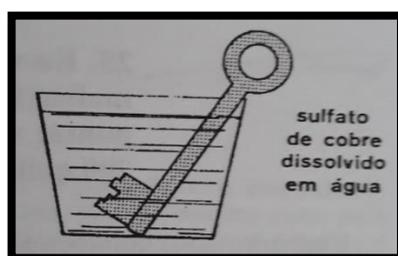


Figura 69: Chave de ferro inserida numa solução de sulfato de cobre.

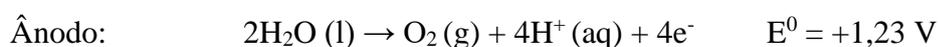
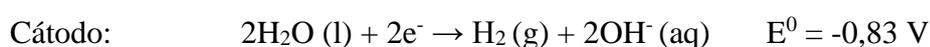
(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1995)

A eletrólise é umas das experiências da área da eletroquímica que podemos fazer em sala de aula com bons resultados e com recurso a materiais acessíveis. O próprio químico e escritor italiano, Primo Levi, no livro “*O Sistema Periódico*”, a descreve do seguinte modo:

Olhei à minha volta e vi num canto uma pilha seca normal. Eis o que faríamos: a eletrólise da água. Era uma experiência de comprovado sucesso que eu executara já por várias vezes em casa. Enrico não se desiludiria.

Deitei água numa tina, dissolvi uma pitada de sal, coloquei na tina dois boiões de compota vazios com a boca para baixo, procurei dois fios de cobre cobertos de borracha, liguei-os aos pólos da pilha e introduzi a extremidade dos boiões. Das pontas saía uma minúscula processão de pequenas bolhas. Olhando com atenção, via-se que do cátodo se libertava mais ou menos o dobro do gás libertado pelo ânodo (Levi, Primo, 1998).

A eletrólise foi descoberta em 1807, por Humphry Davy (fig.70). Este cientista verificou que uma substância pode ser decomposta por ação da corrente elétrica. A primeira experiência, das quatro propostas por Rómulo de Carvalho, é a eletrólise da água (fig.71 a e b) e foi realizada em laboratório. Inicialmente verificámos que a água (um eletrólito fraco) praticamente não deixa passar a corrente, originando-se apenas algumas bolhas de hidrogénio, na extremidade de cobre ligada ao pólo negativo (cátodo), e ainda menos bolhas de oxigénio na extremidade do fio de cobre ligada ao pólo positivo (ânodo). As equações das semirreações, em cada umas das extremidades ou elétrodos, e os potenciais de oxidação-redução, para um pH igual a 7, são as seguintes:



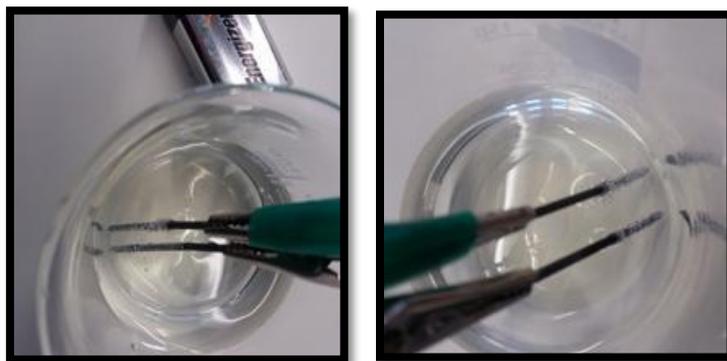
Multiplicando por dois a primeira reação, somando as duas, e subtraindo os potenciais de redução (da reação no cátodo pelo da reação no ânodo), obtemos a equação da reação da eletrólise:



Figura 70: Humphry Davy

(Fonte: <https://www.biography.com/scientist/humphry-davy>)

Por cada duas moléculas de água (substância composta) que são decompostas, origina-se uma molécula de oxigénio (substância simples) e duas moléculas de hidrogénio (substância simples). Daí que o amigo observasse mais gotas de hidrogénio do que de oxigénio.



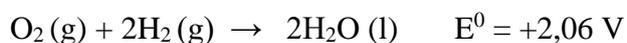
(a)

(b)

Figura 71 a e b: Eletrólise da água.

(Fonte: Laboratório do departamento de Química da FCTUC.)

Para que esta reação ocorra, é necessário aplicar uma tensão entre os elétrodos de pelo menos 2,06 V [na prática o potencial a aplicar é, muitas vezes, maior do que o da célula eletrolítica, e a diferença de potencial adicional (o “*overpotential*”) varia de acordo com os elétrodos que são usado (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000)]. Esta é uma reação não espontânea. Já a reação entre o oxigénio gasoso e o hidrogénio gasoso, para se obter água, é espontânea e pode dar origem a uma diferença de potencial de pelo menos 2,06 V:



Nesta reação, um volume de oxigénio reage com dois volumes de hidrogénio. Henry Cavendish, em 1781, chegou a esta conclusão, usando o aparato da figura 72. Em 1805, como vimos anteriormente, Gay-Lussac confirmou-a, através de medições nas mesmas condições experimentais, e enunciou a lei das combinações dos gases ou a, hoje, denominada lei de Gay-Lussac: quando dois gases reagem, os volumes dos gases reagentes e os volumes de quaisquer produtos estão entre si numa razão simples de números inteiros. Esta lei está na origem da famosa hipótese de Avogadro, de 1811: volumes iguais de gases, medidos nas mesmas condições de pressão e temperatura, contêm o mesmo número de moléculas.

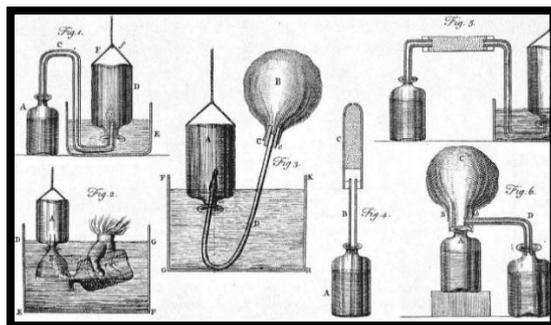
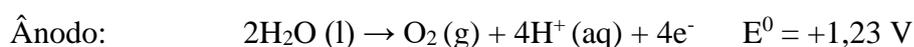
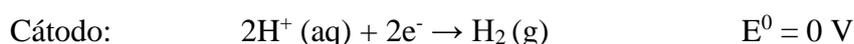


Figura 72: aparato usado por Henry Cavendish

(Fonte: <https://www.sciencesource.com/archive/Henry-Cavendish--Experiments-on-Factitious-Air--1766-SS2736307.html>)

Quando se adiciona à água um sal, como o borato sódio, origina-se uma solução condutora, aumentando o número de bolhas de hidrogénio e de oxigénio libertadas. A quantidade química de iões sódio e de iões borato presentes em água mantém-se constante, já a sua concentração aumenta porque há moléculas de água que estão a ser transformadas.

Na segunda experiência, Rómulo de Carvalho resolveu adicionar vinagre (solução de ácido acético) à água e observou, do mesmo modo, um aumento do número de bolhas de hidrogénio e de oxigénio libertadas. A solução obtida, por adição de ácido acético à água, é eletrolítica e o ácido acético um eletrólito fraco. Esta atividade foi realizada em laboratório (fig. 73 a e b). Com a adição de vinagre à água, o pH da solução diminui e as reações de oxidação e redução alteram-se:



Junto do elétrodo ligado ao pólo positivo e mergulhado em solução, devido à formação de iões H^+ , provenientes da oxidação do oxigénio da água, e à presença da solução alcoólica de couve-roxa, a solução adquire uma tonalidade violeta mais forte do que junto do elétrodo ligado ao pólo negativo (fig.73 a e b).

Multiplicando por dois a primeira reação e somando as duas, obtemos a reação da eletrólise:



Os eletrões, na eletrólise, fluem sempre do ânodo para o cátodo, pelos fios condutores, e a corrente elétrica no sentido oposto, como veremos mais adiante.

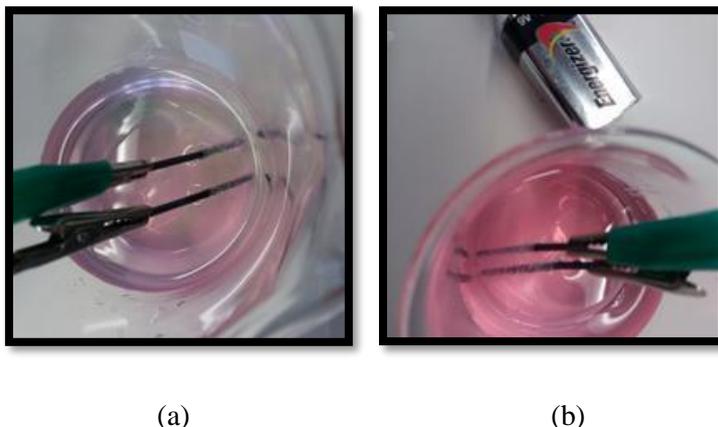


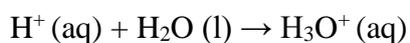
Figura 73 a e b: Eletrólise de uma solução diluída de ácido acético, com algumas gotas de solução alcoólica de couve-roxa.

(Fonte: Laboratório do departamento de Química da FCTUC.)

A explicação da eletrólise só surgiu em 1887, pelo químico sueco Svante August Arrhenius. Segundo a sua teoria da dissociação eletrolítica, ácidos e bases em solução aquosa ionizam-se em iões carregados positivamente e em iões carregados negativamente, H_3O^+ e OH^- , respetivamente. Esta teoria também se aplica a sais que, dissolvidos em água, se dissociam nos respetivos iões. O ácido acético é um eletrólito fraco, uma vez que se encontra parcialmente ionizado em solução aquosa:



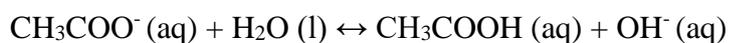
O ião H^+ ao reagir com a água, origina um ião hidrónio:



A equação da reação de ionização é escrita do seguinte modo:

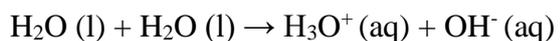


e

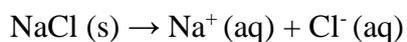


Em solução aquosa e submetidos a um campo elétrico, os iões que resultam da ionização migram, de forma orientada, para cada um dos pólos. Os catiões migram para o pólo negativo e os aniões para o pólo positivo.

Até aqui, consideramos a água como um meio solvente que proporciona a ionização. Todavia, sabemos que algumas moléculas de água auto ionizam-se de acordo com a equação:



Na terceira experiência, também realizada em laboratório (fig.74 a, b, c e d), em vez de dissolvermos ácido acético em água, dissolvemos cloreto de sódio. O cloreto de sódio é um eletrólito e em água encontra-se completamente dissociado em iões cloreto e em iões sódio:



(a)



(b)

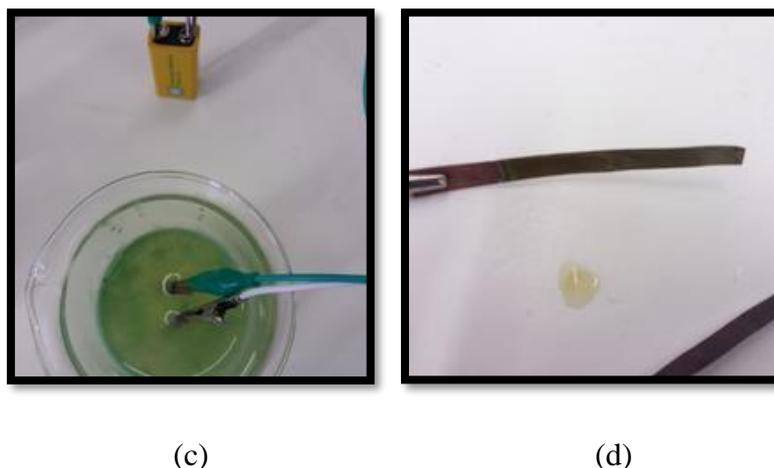
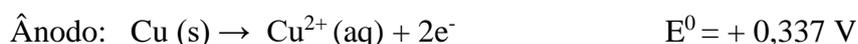
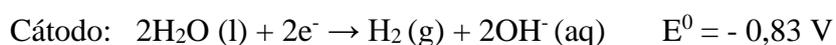


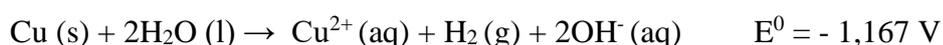
Figura 74 a, b e c : Eletrólise de uma solução diluída de cloreto de sódio, com algumas gotas de solução alcoólica de couve-roxa. Fig. 74 d: elétrodo de cobre esbranquiçado na ponta, devido à formação de um pó de cloreto de cobre (II).

(Fonte: Laboratório do departamento de Química da FCTUC.)

Quando se fecha o circuito, os iões cloreto deslocam-se para a extremidade do fio de cobre ligada ao pólo positivo e os iões de sódio para a extremidade do fio de cobre ligada ao pólo negativo. As equações das semirreações em cada umas das extremidades são as seguintes:



e a equação da reação da eletrólise:



O elétrodo de cobre é, neste caso, reativo.

No início, observámos que a solução adquiriu uma cor esverdeada, junto do elétrodo ligado ao pólo negativo, devido à formação de iões OH^- : uma solução alcoólica de couve-roxa em meio básico apresenta esta cor (fig.74c). O pH medido, inicialmente e rente ao elétrodo mergulhado em solução e ligado ao pólo negativo, foi de 10,67.

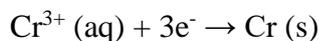
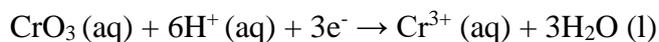
Recorrendo aos potenciais padrão de redução das substâncias envolvidas (**Caixa II**), obtemos a semirreação de oxidação e a semirreação de redução.

Caixa II		
$\text{Cl}_2(\text{g}) + 2\text{e}^- \rightarrow 2\text{Cl}^-(\text{aq})$	$E^0 = + 1,36 \text{ V}$	 <p>Maiores potenciais de redução</p> <p>Menores potenciais de redução</p>
$\text{O}_2(\text{g}) + 4\text{H}^+(\text{aq}) + 4\text{e}^- \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}(\text{l})$	$E^0 = + 1,23 \text{ V}$	
$\text{Cu}^{2+}(\text{aq}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{Cu}(\text{s})$	$E^0 = + 0,337 \text{ V}$	
$2\text{H}_2\text{O}(\text{l}) + 2\text{e}^- \rightarrow \text{H}_2(\text{g}) + 2\text{OH}^-(\text{aq})$	$E^0 = -0,83 \text{ V}$	
$\text{Na}^+(\text{aq}) + \text{e}^- \rightarrow \text{Na}(\text{s})$	$E^0 = -2,71 \text{ V}$	

Os iões sódio e a água são as substâncias que concorrem para serem reduzidas, mas, como o potencial de redução da água é maior, ela será preferencialmente reduzida. Assim, se existir mais do que uma espécie que pode ser reduzida em solução, a espécie com maior potencial de redução é preferencialmente reduzida e é o agente oxidante. Por outro lado, quer o metal de cobre, quer os iões cloreto, quer a água podem ser oxidados. No entanto, para a oxidação do cobre metálico é necessário uma diferença de potencial mais baixa, e ele é oxidado (Sanger, Michael James, 1996). Isto implica a formação de um sal de cloreto de cobre (II) junto do eléctrodo ligado ao pólo negativo (fig74 d).

Uma das aplicações da electrólise, como vimos, é a cromagem. O autor não a demonstrou ao seu amigo porque necessitaria de uma intensidade de corrente elevada e seria necessário ácido sulfúrico e óxido de crómio (VI). O objeto a ser cromado é colocado no cátodo e o electrólito é uma solução aquosa preparada pela dissolução de CrO_3 (óxido de crómio (VI)) em ácido

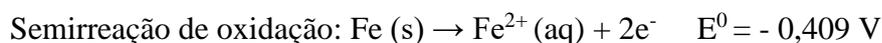
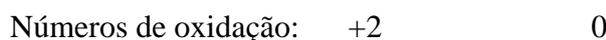
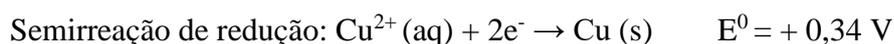
sulfúrico [Nota: o óxido de crómio (VI) é cancerígeno]. A eletrólise reduz o crómio (VI) a crómio (III) e este ao crómio metálico (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000):



A equação da reação de redução é a seguinte:



A quarta e última experiência, proposta pelo autor ao amigo, corresponde a uma reação de oxidação-redução espontânea, sem se efetuar por ação da corrente elétrica. Quando se mergulha a chave de ferro na solução de sulfato de cobre (fig.67) e depois de decorrerem alguns minutos, o ferro metálico reduz os iões de cobre em solução para cobre metálico, e os iões de cobre em solução aquosa oxidam o ferro metálico para iões ferrosos:



Como o potencial padrão de redução do cobre ($E^0 = + 0,337$) é superior ao do ferro ($E^0 = -0,44$), os iões de cobre são reduzidos. O poder oxidante dos iões de cobre é superior aos dos iões de ferro. Por outro lado, o poder redutor dos átomos de ferro é superior aos dos átomos de cobre. A reação ocorre sobre a superfície da chave de ferro mergulhada na solução, e, ao nível macroscópico, observa-se que o cobre, metálico e avermelhado, deposita-se sobre a chave de ferro enquanto a solução vai perdendo a cor azul.

Um fenómeno químico pode ser interpretado ao nível macroscópico, submicroscópico e simbólico (Johnstone, A. H., 1993) (fig.75). O nível macroscópico corresponde à visualização e manipulação de materiais e à descrição das suas propriedades em termos de densidade, cor, etc; o nível submicroscópico é o nível de exploração de como as substâncias químicas se comportam (entram aqui os átomos, as moléculas, os iões...); no nível simbólico representam-se as substâncias químicas por fórmulas e as suas transformações por equações químicas.

A reação anterior, de oxidação-redução, também pode ser explicada ao nível submicroscópico. A transferência de elétrons entre os átomos de ferro e os íons de cobre ocorre durante a colisão entre estas espécies. Na reação, o ferro é oxidado porque cede elétrons e o íon cobre é reduzido porque ganha elétrons. Esta transferência de elétrons entre os reagentes poderá ser aproveitada para a produção da corrente elétrica.

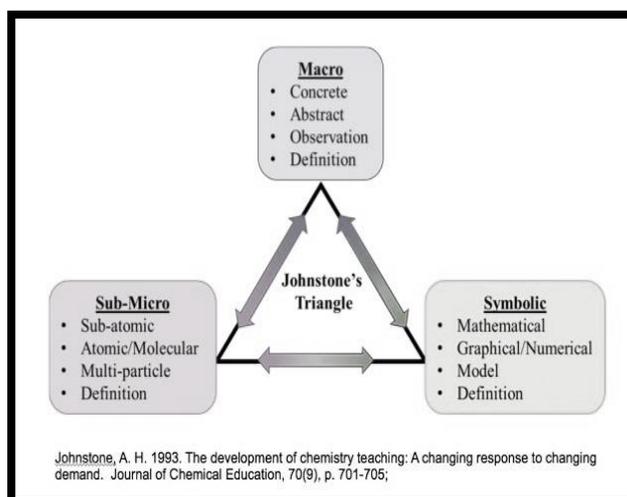


Figura 75: Triângulo A. H. Johnstone.

(Fonte: Johnstone, A. H., 1993)

Na análise de situações do quotidiano, Rómulo de Carvalho começa assim por identificar o problema, por planificar a experimentação (escolher uma estratégia tendo em conta os recursos e os materiais para a sua concretização), por fazer observações, e, por fim, por comparar, avaliar e tirar as conclusões necessárias. Usa o método científico, apesar de se estar a dirigir a uma pessoa sem formação académica em ciências, embora, como é óbvio, não explore os problemas ao nível submicroscópico e simbólico, ficando-se pelo nível macroscópico. A linguagem utilizada, para transmitir o significado científico, é familiar e materna, quase sem recurso a palavras técnicas. Dentro das palavras técnicas, as que o autor usa são as que também têm significado no dia-a-dia, como circuito, pólo, solução e banho. Assim, Rómulo de Carvalho conseguirá, decerto, que o amigo encontre uma resposta para o problema inicial. A metodologia de ensino, usada por Rómulo de Carvalho, é semelhante ao esquema de aprendizagem e memória de Robert Gagné (esquema1), sobretudo no que se refere a captar a atenção do amigo e a estimular-lhe a recordação; a proporcionar informação, a orientá-lo, a propiciar a prática e a dar-lhe feedback; e, finalmente, a propiciar-lhe um desempenho autónomo relacionado com situações do dia-a-dia.

Momentos	Ensino-Aprendizagem
Preparação	<ul style="list-style-type: none"> • Captar a atenção • Explicar os objetivos • Estimular a recordação
Desempenho	<ul style="list-style-type: none"> • Proporcionar informação • Dar orientações de aprendizagem • Propiciar o desempenho (prática) • Dar <i>feedback</i>
Consolidação/Transferência	<ul style="list-style-type: none"> • Propiciar desempenho autónomo • Facilitar a transferência

Esquema1: Estrutura de uma sequência de ensino, segundo R. Gagné, 1988.

(Fonte: Damião, Helena, 2019)

6.2 Ebulição e Vaporização da Água

Para que o aluno defina a ebulição como a passagem rápida e tumultuosa de um líquido ao estado de vapor, o ponto de ebulição como a temperatura à qual uma substância líquida entra em ebulição a uma dada pressão, e conclua que a vaporização também ocorre a temperaturas inferiores à temperatura de ebulição, durante o 7.º Ano de escolaridade, podemos partir de uma nova situação-problema, apresentada por Rómulo de Carvalho e contextualizada na experiência do dia-a-dia:

O meu amigo já observou, com atenção, a água quando está a ferver? Então observe bem, que aprende aí muita coisa (Carvalho, Rómulo de, 1995).

O autor começa por relembrar o amigo de que, quando se aquece água, a camada de líquido, junto ao fundo do recipiente, torna-se mais leve, fazendo descer as outras e originando um movimento de circulação que transporta o calor e acaba por aquecer o líquido todo.

De seguida, pede-lhe para aquecer água num recipiente de vidro, colocando nela um termómetro. Observa-se, então, que, inicialmente, o líquido está sereno e a temperatura aumenta devagar. Num dado momento, as paredes interiores e o fundo do recipiente começam a cobrir-se de bolhas pequenas, que vão aumentando de diâmetro até se desprenderem das paredes,

assomando velozmente até à superfície, onde rebentam. Por fim, uma miríade delas sobe e rebenta, o que significa que a água está a ferver. Então, convida o amigo a maravilhar-se com o que está a acontecer, *Não deixe de observar, que é interessante*, para depois o questionar sobre a origem e natureza das bolhas:

Que bolhas são essas?...O que estava lá dentro, antes de deitar a água (Carvalho, Rómulo de, 1995)?

Antes de se encher com água, o recipiente estava cheio de ar. Quando se enche com água, devido ao pó e às gorduras, algum do ar fica aprisionado junto das paredes porque a água não adere a estas. Sob aquecimento, esse ar começa a dilatar-se e formam-se bolhas (Carvalho, Rómulo de, 1995).

Depois de o amigo compreender porque se formaram as bolhas, o autor pede-lhe que reflita sobre o fato de as bolhas estarem rodeadas de água. A água aquecida passa ao estado de vapor e este penetra na bolha de ar, que no seu interior passa a conter ar e vapor de água (Carvalho, Rómulo de (1995)). Sem a formação, num primeiro momento, das bolhas de ar, não se formaria o vapor de água e o líquido não aquecia.

Compreendida a natureza e origem das bolhas de ar, o autor coloca uma nova questão ao amigo:

Porque é que as bolhas depois de formadas se desprendem (Carvalho, Rómulo de, 1995)?

As bolhas formadas são leves e sofrem a impulsão por parte da água, assomando à superfície (Carvalho, Rómulo de (1995)). Enquanto a água ferve, observam-se nuvens de fumo. A próxima questão do autor está relacionada com a natureza desse “fumo”:

Que fumo será esse? Que nome lhe dá (Carvalho, Rómulo de, 1995)?

A primeira intuição do amigo será responder que é vapor de água. Assim, o autor pede-lhe que coloque uma tampa fria numa cafeteira com água a ferver, a retire e olhe para o seu interior. A tampa cobre-se interiormente de gotículas de água (fig.76). Por que razão isto acontece? Quando se aquece água (ou outro líquido) a substância passa a vapor e esse vapor pode passar a líquido, quando arrefecido (Carvalho, Rómulo de, 1995). O vapor condensa-se e o líquido vaporiza-se. As gotas de líquido sobre o prato resultam do vapor de água se ter condensado.

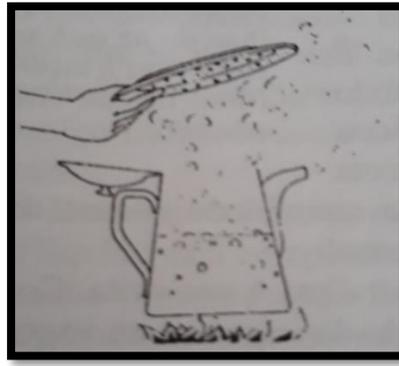


Figura 76: Prato a cobrir-se de gotas de água, quando o vapor de água condensa.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1995)

Nesta atividade, podemos, com um termómetro ou um sensor de temperatura dentro de água, registar os valores de temperatura em cada momento. Depois, solicitaríamos ao aluno para, numa folha de cálculo, traçar o gráfico da temperatura da água em função do tempo.

Uma vez mais, o autor contextualiza o fenómeno da condensação em uma situação que vivenciamos no dia-a-dia: no inverno, quando tomamos banho na casa-de-banho, as paredes ficam embaciadas e os espelhos. Para que a condensação ocorra, basta o próprio ar atmosférico estar frio. Assim se explica a origem das nuvens de fumo que saem da cafeteira a ferver: o vapor de água condensa em contato com o ar frio. Por sua vez, o que não se condensa não se vê.

Ao aquecermos a água no recipiente aberto, a sua temperatura sobe até se manter constante, durante a ebulição. Isto pode ser verificado pela leitura do termómetro (a pressão atmosférica constante, a água tem um ponto de ebulição característico). À temperatura de ebulição, formam-se bolhas no interior da água e a pressão exercida sobre essas bolhas, a um dado desnível em relação à superfície, é igual à pressão atmosférica adicionada à contribuição da pressão hidrostática, enquanto que a pressão no interior das mesmas é devida à pressão do vapor de água. Quando a pressão do vapor de água iguala a pressão exterior sobre a bolha, a bolha sobe até à superfície e rebenta. Se a pressão do vapor de água dentro da bolha fosse inferior à pressão exterior, a bolha colapsaria, dentro do líquido, e já não subiria. Isto é, ainda não se teria atingido a temperatura de ebulição (Corrêa, Carlos & Basto, F. Pires, 1995).

A vaporização, por sua vez, consiste na conversão de um líquido em vapor por absorção de energia sob a forma de calor, sendo um processo endotérmico. Quando prossegue lentamente

até à aridez, dizemos tratar-se de uma evaporação (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000). A facilidade com que um líquido vaporiza depende da temperatura do líquido e das forças intermoleculares entre as suas moléculas (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000). Essa tendência pode ser medida. No caso da água, é medida pela pressão de vapor de água, que, a uma dada temperatura, é a pressão exercida pelo vapor de água em equilíbrio, num sistema isolado, com a água líquida (Corrêa, Carlos & Basto, F. Pires, 1995). A 25°C, a pressão de vapor da água é de 23,8 Torr, enquanto a pressão de vapor do etanol é de 58,9 Torr. Isto implica que a pressão de vapor de água em equilíbrio com a água, líquida e pura, é constante a uma dada temperatura, tal como a pressão de vapor do etanol, e que o etanol é mais volátil do que a água. No etanol as forças intermoleculares são mais fracas do que na água. Por outro lado, a pressão de vapor aumenta com o aumento da temperatura. Na figura 77, representa-se a pressão de vapor de algumas substâncias em função da temperatura.

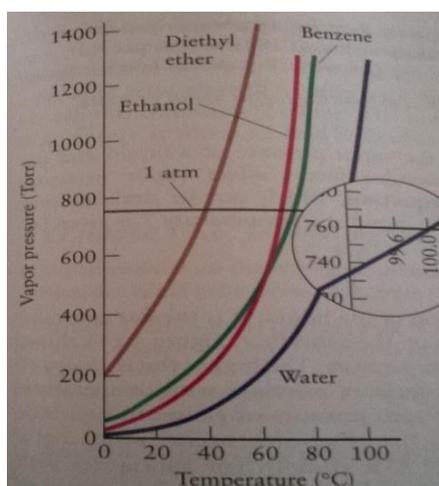


Figura 77: Variação da pressão de vapor de algumas substâncias com a temperatura.

(Fonte: Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000)

Antes de aquecermos o recipiente com água, a água líquida e o ar encontram-se na superfície de contato, chocam e interpenetram-se. Havendo, por isso, passagem dos constituintes de cada um dos meios para o outro. A vaporização lenta (evaporação) ocorre, deste modo, a temperaturas inferiores à temperatura de ebulição. Ao aquecermos a água (aumentarmos a temperatura), facilitamos a libertação das suas moléculas à superfície, aumentando a pressão de vapor de água, e, conseqüentemente, a tendência para a vaporização. Quando a temperatura da água é suficientemente elevada, a pressão do vapor de água das bolhas iguala a pressão exterior e a vaporização dá-se em todo o líquido (não somente à superfície) e este entra em ebulição (Corrêa, Carlos & Basto, F. Pires, 1995).

No prefácio da primeira edição d' "A Física No Dia-A-Dia", de 1968, o autor, dirigindo-se ao amigo, pede-lhe que: *Não mostre este livro a nenhuma pessoa sabedora porque essa encontraria com certeza muitos motivos de censura nas minhas palavras. Acharia que aqui não estava bem explicado, que ali tinha usado palavras impróprias (...)* (Carvalho, Rômulo de, 1995). Sem pretender ser-se como Pigmaleão, ainda assim ele esculpiu a sua Galatéia. Contrariando o próprio autor, considero este livro uma extraordinária ferramenta pedagógica para professores de Física e de Química, assim como para discentes.

6.3 A Abordagem às Experiências de Oersted e Faraday

No problema 19 do livro, *A Física No Dia-A-Dia*, o autor explica ao amigo como se faz um íman sem se usar ferro nem aço. O amigo começa por deitar uma agulha magnetizada num prato com água e verificar que ela se orienta na direção norte-sul. Depois, deita o fio condutor, que vem do pólo positivo de uma pilha, sobre e na mesma direção da agulha, e liga a extremidade livre do fio ao pólo negativo da pilha. Nesse instante, o autor reclama a atenção do amigo: *Atenção! Toque! Que sucedeu!* A agulha mexe-se por ação da corrente elétrica (Carvalho, Rômulo de, 1995). O pólo norte da agulha roda para a direita. Se se colocasse a extremidade do fio ligada ao pólo negativo da pilha sobre a direção norte-sul, o pólo norte da agulha rodaria para a esquerda. Esta é a experiência do físico dinamarquês Oersted. Cessando a corrente, a agulha volta a orientar-se na direção norte-sul. Como a corrente sai pelo pólo positivo da pilha e entra pelo negativo, a agulha magnética roda em função do sentido da corrente e do campo magnético por ela criado (o sentido das linhas de força do campo magnético pode ser determinado pela regra do saca-rolhas). Esta experiência é o pretexto para a realização de outra: agora, com o auxílio de um lápis e de um fio elétrico, constrói-se uma bobina e liga-se os terminais aos pólos da pilha. De seguida, aproxima-se uma das extremidades da bobina do pólo norte de uma agulha magnetizada num prato com água. A agulha mexe-se (se se aproximasse do pólo sul a agulha também se mexeria). A extremidade da bobina atrai ou repele a agulha, conforme o seu pólo é sul ou norte. A bobina comporta-se como um íman, atraindo ou repelindo a agulha magnetizada, com as linhas de força entrando pelo pólo sul e saindo pelo pólo norte (os ponteiros dos voltímetros e dos amperímetros funcionam com base neste princípio). De seguida, o autor pede ao amigo para realizar uma nova experiência: mover um íman em barra

junto de um fio em forma de anel (ou de uma bobina) cujas extremidades estão ligadas umas às outras ou a um amperímetro sensível. Neste caso, produz-se uma corrente elétrica (devendo verificar-se em que sentido o ponteiro do amperímetro roda, dependendo da aproximação ou afastamento de um pólo do íman), embora o autor advirta que não é fácil obter bons resultados. Aqui, estamos perante um fenómeno de indução eletromagnética, a experiência de Faraday. A aproximação de um pólo do íman da bobina aumenta o fluxo magnético através da bobina e é induzida uma corrente elétrica no circuito. A corrente induzida cria, por sua vez, um campo magnético cujos efeitos se opõem aos efeitos do campo magnético criado pelo íman. Se se deter o íman, não será induzida nenhuma corrente no circuito.

No livro de divulgação científica, *Magnetismo e Eletromagnetismo*, Rómulo de Carvalho aborda a experiência de Oersted como foi idealizada pelo físico dinamarquês: com recurso a uma pilha, um fio condutor, percorrido por uma corrente elétrica, e uma agulha magnética. Aqui há o cuidado de distinguir duas situações: se a agulha magnética está colocada paralelamente ao fio condutor ou se está colocada perpendicularmente. Para se verificar que só as cargas elétricas em movimento originam campos magnéticos, Rómulo de Carvalho sugere também que se aproxime um corpo eletrizado por fricção de uma agulha magnética (Carvalho, Rómulo de, 1983b). Já para a experiência de Faraday, é sugerido o uso de um íman e de uma bobina ligada a um amperímetro. Deve-se, primeiro, introduzir na bobina o pólo norte de um íman e, de seguida, afastá-lo; depois, introduzir na bobina o pólo sul e, de seguida, afastá-lo. Em vez de se mover o íman, Rómulo de Carvalho esclarece que o resultado é o mesmo se se movimentar, num vaivém, a bobina com o íman parado no seu interior. Já se o íman e a bobina estiverem parados não será induzida qualquer corrente elétrica na bobina. Neste livro é ainda apresentado um modo diferente de obter as correntes de indução: girando um íman diante de uma bobina (fig.78). Todavia, para se observar a oscilação do ponteiro do galvanómetro, a rotação do íman deve ser lenta (Carvalho, Rómulo de, 1983b). Acrescentamos, também, a esta sugestão, o colapso de uma espira para se obter uma corrente de indução (Koudelkova, V. & Dvorak, L., 2014).

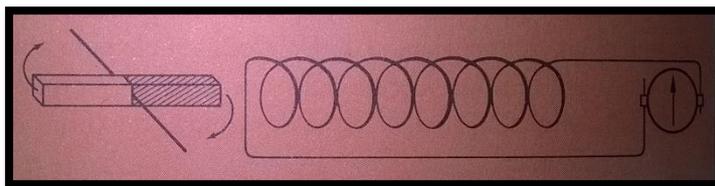


Figura 78: Ímã a rodar defronte para uma bobina.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1983b)

Em o livro “*Física para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*”, a experiência de Oersted está ilustrada na figura 79. Para a realizar, são necessários fios de ligação, um fio condutor, um interruptor, uma pilha seca e uma agulha magnética. Neste livro é sugerido que se faça passar uma corrente pelo fio condutor e que, de seguida, a interrompa de modo a verificar que a agulha magnética, depois do desvio, retoma a sua posição inicial (Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982).

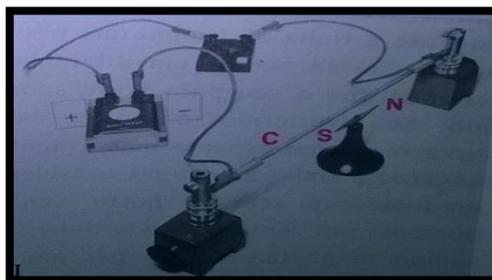


Figura 79: Aparato experimental para a realização da experiência de Oersted.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

Para a realização da experiência de Faraday, são avançados três processos de obtenção de correntes elétricas em circuitos fechados (circuitos induzidos) a partir da variação do fluxo magnético que os atravessa (Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982). O primeiro processo de indução eletromagnética (fig.80) consiste na aproximação ou afastamento de um ímã de um circuito induzido fixo (uma bobina em repouso ligada a um galvanómetro). Deste modo pode verificar-se a alteração do sentido da corrente elétrica induzida no circuito. O segundo processo consiste na aproximação ou afastamento de uma bobina percorrida por uma corrente elétrica de uma outra bobina, usada como circuito induzido e ligada também a um

galvanómetro (fig.81). Por fim, no terceiro processo (fig.82), aumenta-se ou diminui-se a intensidade da corrente num circuito indutor (constituído por uma bobina, uma fonte de alimentação, um interruptor e um reóstato) próximo do circuito induzido (uma bobina ligada a um galvanómetro). Note-se que, neste livro, se designa o fluxo magnético por fluxo de indução, o vetor \vec{B} por indução eletromagnética, as correntes obtidas por correntes induzidas, o circuito onde ocorrem as correntes induzidas por circuito induzido, e o campo magnético responsável pelas correntes induzidas o campo indutor.

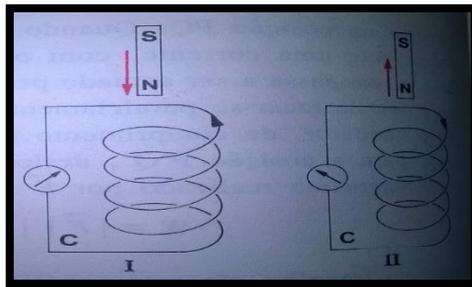


Figura 80: Indução eletromagnética por um ímã.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

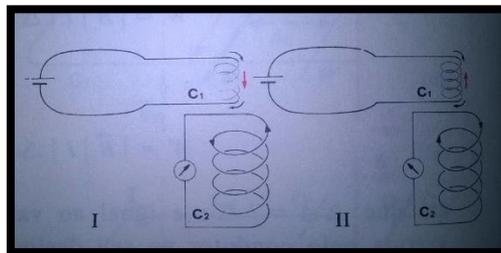


Figura 81: Indução eletromagnética por uma bobina percorrida por uma corrente (C_1 , circuito indutor) que se aproxima ou afasta de uma bobina (C_2 , circuito induzido).

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

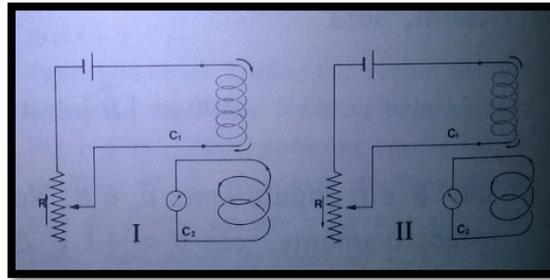


Figura 82: Indução eletromagnética por variação da corrente elétrica numa bobina indutora, fazendo variar a resistência R.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

Nos dois primeiros processos, as correntes elétricas são induzidas por um movimento relativo entre um condutor e a fonte de um campo indutor. O sentido da corrente induzida depende do sentido do movimento relativo e a intensidade da corrente induzida depende da velocidade relativa, da força magnética do ímã, no primeiro processo, e do número de espiras, no segundo processo.

No terceiro processo, como não há qualquer movimento relativo, a corrente elétrica é induzida por uma variação temporal do campo magnético indutor nas vizinhanças de um condutor. Esta variação pode ser obtida de dois modos: fechando ou abrindo o circuito indutor ou variando de súbito a intensidade da corrente elétrica (aumentando-a ou diminuindo-a, com um reóstato) no circuito indutor. No primeiro caso, ao fechar-se o circuito indutor ou primário, ocorre uma variação do fluxo magnético que é acompanhada pelo surgimento de uma força eletromotriz no circuito secundário ou induzido; concomitantemente, a corrente induzida no circuito secundário cria um campo magnético cuja variação cria uma corrente induzida no circuito primário; no circuito primário, a corrente elétrica atinge logo um valor constante, deixa de haver variação do fluxo magnético, e, conseqüentemente, corrente induzida no secundário. Quando se desliga o circuito primário, ocorre também variação do fluxo magnético e surge por momentos uma força eletromotriz induzida no circuito secundário. Este fenômeno é conhecido por indução-mútua e foi observado por Faraday. No segundo caso, a variação de corrente no circuito primário induz uma corrente no circuito secundário e nele próprio. A corrente induzida no próprio circuito chama-se corrente de autoindução e o fenômeno autoindução.

Também no manual escolar, *Ciências da Natureza-1*, publicado em 1968 e com várias reedições nos anos seguintes, para o 1.º ano do Ciclo Preparatório do Ensino Secundário, Rómulo de

Carvalho, valorizando a vertente experimental, propõe que se verifique o desvio de uma agulha magnética pela corrente elétrica que atravessa uma bobina (Carvalho, Rómulo de, 1970). A experiência é realizada em três tempos: inicialmente mostra a feitura de uma bobina com um lápis e um fio de cobre isolado (fig.83a); depois, a ligação das extremidades enroladas do fio de cobre aos pólos de uma pilha seca (fig.83b); por fim, a aproximação de uma espira extrema da bobina a um pólo da agulha magnética, e, depois, ao outro, e o registo de observações (é também proposto que se inverta o contato das extremidades do fio de cobre com os pólos da pilha e se volte a aproximar a espira extrema da bobina dos pólos da agulha magnética) (fig.83c).

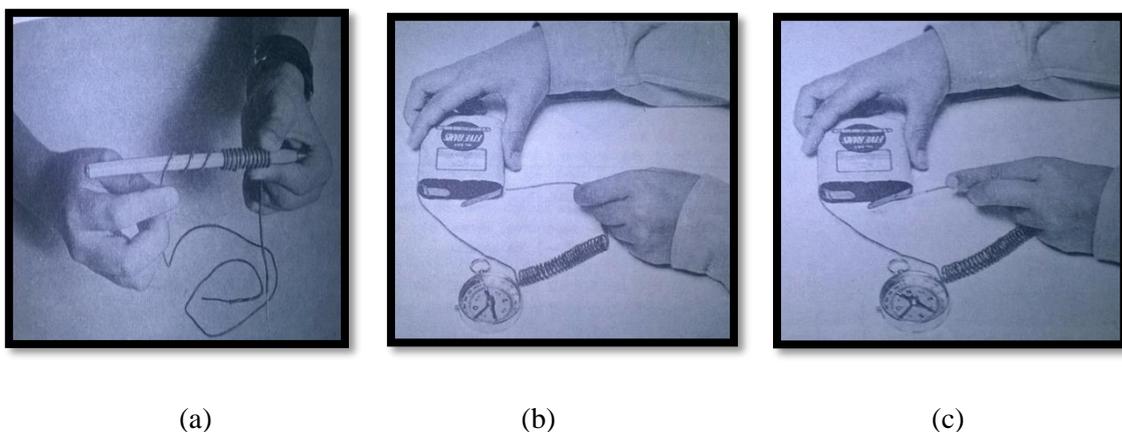


Figura 83: (a) Feitura de uma bobina. (b) aproximação de uma extremidade do fio a um pólo da pilha. (c) desvio da bússola, após ambas as extremidades estarem ligadas aos pólos.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1970)

6.4 Osciloscópio de Raios Catódicos

O osciloscópio de raios catódicos (fig.84) é um instrumento que pode ser usado em experiências escolares de indução eletromagnética. É constituído essencialmente por quatro partes: um canhão de eletrões (um cátodo C, aquecido pelo filamento F, uma grelha G, dois ânodos (A_1 e A_2), um controlador de brilho R_1 e um controlador de focagem R_2); um sistema de deflexão (uma placa de deflexão vertical e uma placa de deflexão horizontal); um ecrã fluorescente de sulfureto de zinco, em geral; e uma base de tempo, isto é, uma diferença de potencial alternada, em forma de dentes de serra e aplicada às placas de deflexão horizontal, para que os eletrões

atravessem o ecrã da esquerda para a direita a velocidade constante (os eletrões vão do ecrã para A_2 , ânodo ligado a uma camada de grafite) (Sá, Maria de, 1999).

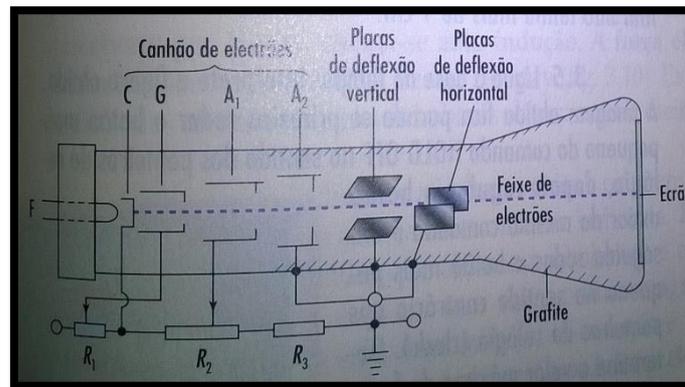


Figura 84: Estrutura do osciloscópio de raios catódicos.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

O professor no seu exercício deve ter em consideração que a frequência da diferença de potencial deve ser ajustada num comando do painel (se for elevada, apenas vemos um traço horizontal, sem termos percepção do movimento do feixe) e que, para estabilizar a figura no ecrã, no momento em que se aplica uma diferença de potencial às placas de deflexão vertical, cada varredura horizontal deve começar no instante em que se inicia a deflexão vertical (Sá, Maria de, 1999).

Os botões de comando e os botões para acionar a base de tempo são os seguintes: POWER (fig.85B), INTEN (brilho) (fig.85B), SCREEN FOCUS (focagem) (fig.85B), ILLUM (contraste) (fig.85B), TIME/DIV (base de tempo) (fig.85C) e o comando TRIGGER em AUTO (para frequências superiores a 50Hz) (fig.85A). Para usarmos o osciloscópio como voltímetro, em correntes contínuas ou alternadas, temos de ligar os terminais, responsáveis pela diferença de potencial a medir, às placas de deflexão vertical (CH1 X ou CH2 Y).

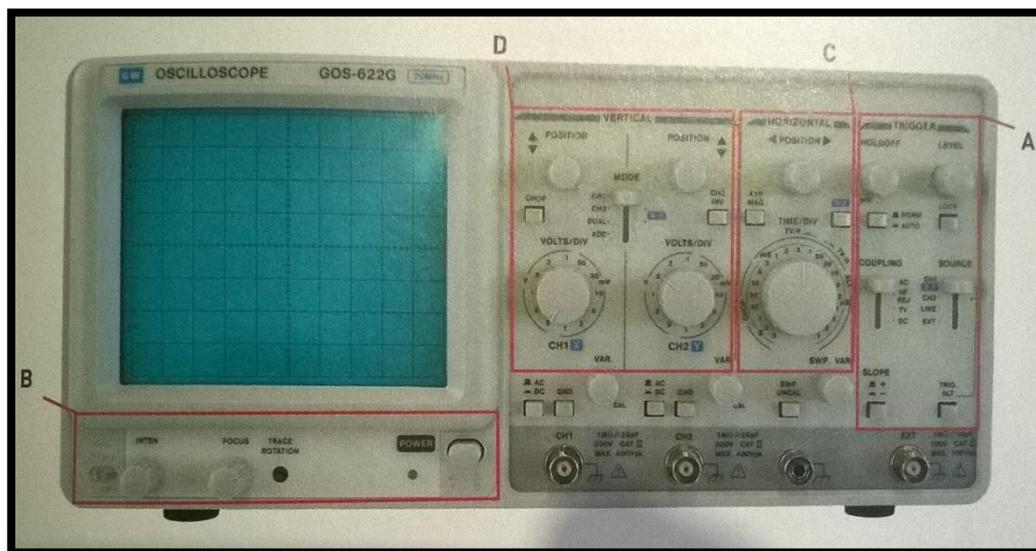


Figura 85: osciloscópio de raios catódicos.

(Fonte: Bello, Adelaide & Helena Caldeira, 2004)

Entre 1972 e 1973, foram publicados quatro artigos de Rómulo de Carvalho, sobre a introdução do osciloscópio nas experiências escolares, na *Gazeta de Física* (fig.86): *Introdução à utilização do osciloscópio de raios catódicos em experiências escolares*; *Experiências escolares com o osciloscópio de raios catódicos em que não se utiliza a base de tempo, A* – *Observação dos desvios sofridos pelo sinal luminoso quando se submete o feixe eletrónico à ação dos campos magnéticos e elétricos*; *Experiências escolares com o osciloscópio de raios catódicos em que não se utiliza a base de tempo, B* – *Estudo das relações entre os valores de algumas grandezas físicas*; *Experiências escolares com o osciloscópio de raios catódicos em que se utiliza a base de tempo*. Nestes artigos, Rómulo de Carvalho descreve em que consiste um tubo de raios catódicos e os modelos de osciloscópicos que eram, naquele tempo, fornecidos aos liceus; explica como se preparavam cada um dos modelos para a realização de experiências; enumera várias experiências – nos domínios da eletrónica, do eletromagnetismo e da acústica – que se podem realizar com o osciloscópio, sem a base de tempo e com a base de tempo; e conclui escrevendo que: *Sempre que num dado circuito haja variações de tensão elétrica com o tempo decorrido, ou haja variações de qualquer outra grandeza que possam ser traduzidas em variações de tensão, recomenda-se o uso do osciloscópio(...)* (Carvalho, Rómulo de, 1972b). A *base de tempo* de um osciloscópio corresponde a um traço luminoso horizontal que surge no ecrã (o eixo dos tempos dos gráficos), e a *tensão de varredura* qualquer valor de tensão que desloque um ponto luminoso. Nos gráficos obtidos, podemos ler a variação da *tensão de varredura* com o tempo.



Figura 86: Gazeta de Física, volume V e fascículo 7, de agosto de 1972.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1972b)

Sem se usar a base de tempo, Rómulo de Carvalho sugere que se realizem, por exemplo, as seguintes atividades:

- A) Medição da tensão contínua fornecida por uma fonte. Neste caso, a fonte pode ser uma pilha, que é, depois, ligada aos terminais do osciloscópio (por exemplo, o cabo da ponta de prova é ligado a CH1 X do osciloscópio atual, na figura 85) que funciona como um voltímetro, conhecendo-se a sensibilidade do osciloscópio no que respeita à grandeza do desvio do feixe eletrónico no ecrã (0,4mm/V). Assim, a partir do desvio do feixe luminoso no ecrã (d), a tensão valerá $\frac{d}{0,4}V$, estando o desvio expresso em milímetros (Carvalho, Rómulo de, 1972b).
- B) Indução provocada pelo deslocamento de um íman em barra. Aqui, os terminais de uma bobina de 1200 espiras são ligados às placas do osciloscópio (por exemplo, o cabo da ponta de prova é ligado a CH1 X do osciloscópio atual, na figura 83), sendo, depois, provocada uma variação do fluxo magnético, através das espiras da bobina, com um íman (primeiro introduz-se o íman lentamente, depois mais rápido e, por fim, substitui-se a bobina por bobinas com um número de espiras diferentes, voltando a introduzir-se o íman). Consequentemente, é criada uma tensão entre as placas, devida à força eletromotriz provocada por indução. Por fim, as variações do sinal luminoso no ecrã do osciloscópio permitem estudar as variações dos valores da força eletromotriz. O deslocamento desse sinal luminoso é efetuado num certo sentido que depende do pólo do íman que foi utilizado para a indução e de se aproximar ou afastar o íman da bobina. Ao introduzir-se o íman com uma rapidez maior, o desvio do sinal é tanto maior quanto menor o intervalo de tempo em que durou a variação de fluxo magnético através da

bobina. Se o número de espiras for maior, os desvios do sinal luminoso também são maiores, se se mantiverem as restantes condições. Esta experiência permite estudar a lei de Faraday em laboratório (Carvalho, Rómulo de, 1972b). Neste caso, para procurar manter a velocidade do íman constante, durante a aproximação e afastamento à bobina, podemos usar a máquina de Atwood (fig.87), embora aqui o íman caia na vertical (Hessel, Roberto & Freschi, Agnaldo & Santos, Francisco dos, 2015, e Kingman, Robert & S. Clark Rowland & Sabin Popescu, 2002), ou, em alternativa, um íman, acoplado a um sistema oscilante, passando pelo interior de uma bobina no ponto mais baixo da trajetória (fig.88) (Singh, Avinash & Y. N. Mohapatra & Satyendra Kumar, 2002).

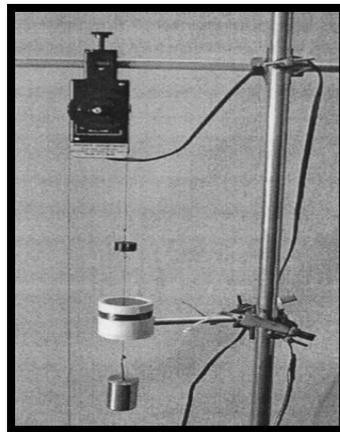


Figura 87: Máquina de Atwood com íman.

(Fonte: Kingman, Robert & S. Clark Rowland & Sabin Popescu, 2002)

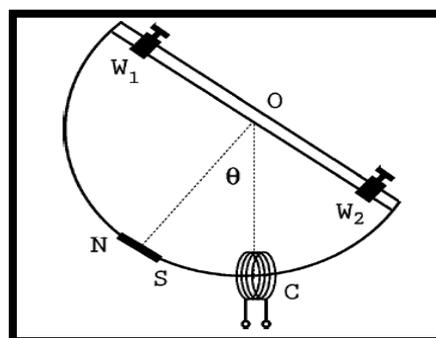


Figura 88: Íman passando através de uma bobina.

(Fonte: Singh, Avinash & Y. N. Mohapatra & Satyendra Kumar, 2002)

C) Indução provocada por uma bobina percorrida por uma corrente. Para o efeito e para estudar a variação da força eletromotriz induzida com a intensidade de corrente indutora, deve-se realizar a montagem da figura 89, com uma tensão alternada de 6,3V, um reóstato (R) de $23,5\Omega$ e 4,3A, uma bobina (B_1), com diferentes números de espiras, e uma bobina (B_2) de 2 x 18000 espiras conectada aos terminais da placa; se a bobina indutora for de 300 espiras e se se começar com a máxima resistência do reóstato e depois se ir diminuindo, o traço aumenta, isto é, a força eletromotriz induzida depende da intensidade de corrente indutora. Para o estudo da variação da força eletromotriz induzida com o número de espiras da bobina que sofre indução, se se substituir a bobina de 2 x 18000 espiras por uma de 12000 espiras, verifica-se que os comprimentos dos traços luminosos são menores quando o número de espiras é menor. Para estudar a variação da força eletromotriz induzida com o ângulo entre os eixos das bobinas indutora e induzida, coloca-se, primeiro, as duas bobinas defronte uma para a outra e próximas, e, depois, roda-se uma das bobinas de modo que os seus eixos façam entre si ângulos cada vez menores; assim, o traço aumentará de comprimento. Por fim, para estudar a variação da força eletromotriz induzida com a permeabilidade magnética do núcleo da bobina, introduz-se na bobina indutora um núcleo de ferro (antes estava mergulhada no ar); aumenta-se, deste modo, o valor da força eletromotriz induzida. Este aumento verifica-se pelo alongamento do traço luminoso (Carvalho, Rómulo de, 1972b).

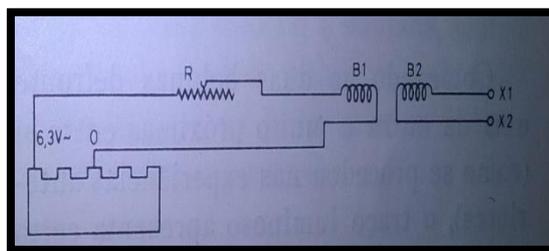


Figura 89: Montagem para a indução provocada por uma variação da intensidade de corrente no circuito indutor.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1972b)

Com recurso à base de tempo é proposta, por exemplo, a análise de uma tensão sinusoidal de 50 Hz, com realização da montagem da figura 90. São necessárias duas bobinas, a primária de 1200 espiras e a secundária de 150 espiras (Carvalho, Rómulo de, 1973a). A bobina primária está ligada à rede (220V) e a secundária às placas do osciloscópio (por exemplo, o cabo da

ponta de prova é ligado a CH1 X ou CH2 Y do osciloscópio atual, na figura 85). Observar-se-á uma linha sinusoidal, podendo-se aumentar a sua amplitude.

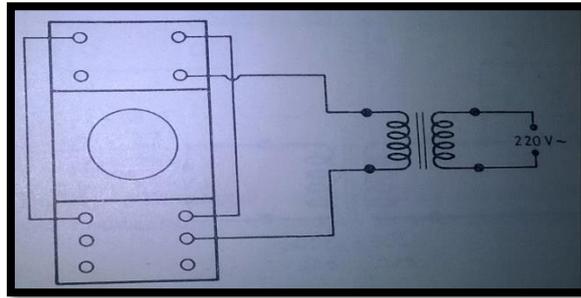


Figura 90: Tensão sinusoidal de 50Hz aplicada às placas por intermédio de um transformador, com utilização do amplificador vertical do osciloscópio.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1973a)

7. Novas Abordagens das Experiências de Oersted e Faraday Previstas nas Aprendizagens Essenciais do 11.ºAno de Escolaridade de Física e Química A

Já referimos anteriormente que, de acordo com as “*Aprendizagens Essenciais*” do 11.ºAno de escolaridade de Física e Química A e no que diz respeito às experiências de Oersted e Faraday, o professor deve realizar atividades experimentais, recorrendo às TIC, quando pertinente.

A designação *Tecnologia de Informação e Comunicação*, TIC, refere-se, no âmbito do desenvolvimento curricular, a uma gama de ferramentas relacionadas com o *hardware* e *software* disponíveis para computadores, a formas diversas de comunicação e ao uso de fontes de informação como a Internet, o CD-R ou CD-RW, as videoconferências, a TV digital e as tecnologias associadas como a robótica. As TIC oferecem-nos, por exemplo, folhas de cálculo (para manipulação de variáveis, realização de representações gráficas e interpretação dos resultados obtidos), sensores e processos de aquisição e tratamento de dados (para ambientação a formas comuns de instrumentação e medida), modelações e simulações (para compreensão dos fenómenos científicos e aplicação dos conceitos científicos) (Cardoso, A. Correia, 1993). Num computador e através das bases de dados, podemos introduzir o resultado de uma investigação ou de uma pesquisa, como um gráfico da resistência elétrica de um determinado material em função da temperatura: nas folhas de cálculos, introduzimos os valores, que podem ser manipulados pelo uso de fórmulas, e obtemos vários tipos de gráficos. Assim, monitorizamos, por meio de um computador e de um sistema de aquisição e tratamento de dados, uma atividade laboratorial, usando um sensor conectado a um computador através de uma interface (fig.91). Os sistemas de aquisição e tratamento de dados apresentam muitas vantagens escolares: os alunos tomam com eficiência as rédeas das atividades laboratoriais, interpretam melhor os gráficos e refletem sobre as variáveis em determinadas condições; por outro lado, facilitam a aprendizagem, permitindo ao professor e ao aluno uma retroação imediata, e permitem que haja tempo para a análise e discussão das atividades e realização de outras (Cardoso, A. Correia, 1993). Acrescentamos que a feitura dos gráficos também é educativa, uma vez que os alunos, em geral, têm dificuldades em traçar gráficos.

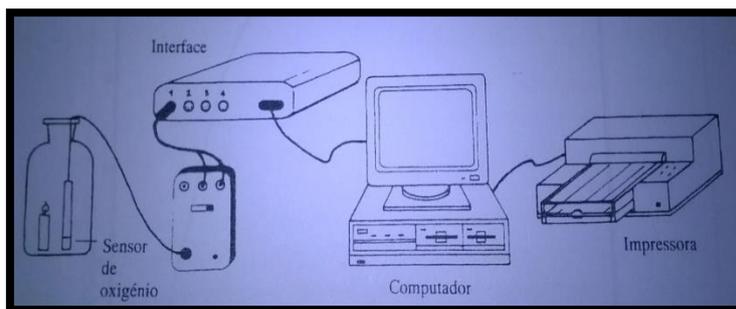


Figura 91: Atividade laboratorial de química, com recurso ao sistema de aquisição e tratamento de dados.

(Fonte: Cardoso, A. Correia, 1993)

Um programa de aquisição e tratamento de dados, usado amiúde no laboratório escolar, é o Science Workshop da PASCO (fig.92). É um programa direcionado para experiências de laboratório que se podem monitorizar num computador. A interface do Science Workshop permite ao aluno ligar e configurar, de modo automático, as três entradas analógicas e as quatro entradas digitais (Bloch, S. C., 2004). Para esse fim, ele deve clicar e arrastar uma das entradas para um canal selecionado. Depois de selecionar o canal, pode visualizar os valores, durante uma atividade laboratorial, num gráfico, numa tabela de dados ou num osciloscópio. Um outro programa muito usado nos laboratórios escolares é o MultiPurpose Lab Interface (MPLI) da Vernier. Na caixa deste software encontram-se os canais A, B e C, que o aluno pode ligar a vários sensores, e, também, um modo que transforma o computador num osciloscópio digital de um canal (Bloch, S. C., 2004). Os dados obtidos, pelo Science Workshop e pelo MultiPurpose Lab Interface, podem, depois, ser copiados, guardados e manipulados numa folha de cálculo do Excel.

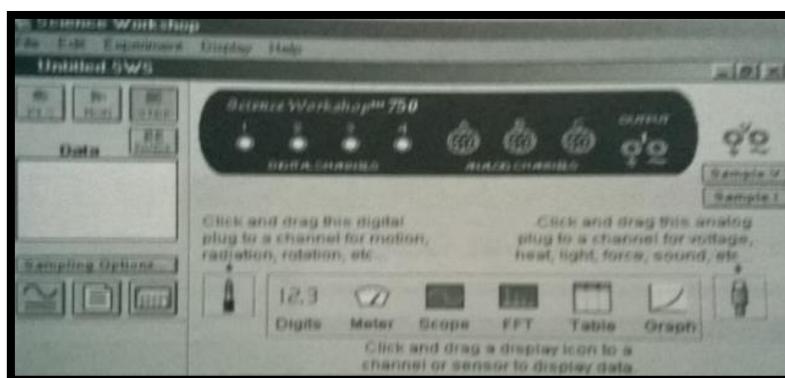


Figura 92: Interface do Science Workshop.

(Fonte: Bloch, S. C., 2004)

Alguns dispositivos que usamos no nosso dia-a-dia, como o *smartphone*, os *tablet PC's*, os computadores portáteis, os telemóveis e as máquinas de calcular, também estão incluídos nas novas tecnologias de informação e comunicação. O *smartphone* possui uma diversidade de sensores (entre eles, o de pressão, o de luz, o de posição, o de som, o de aceleração e o de campo magnético) e as aplicações, conhecidas entre nós por *Apps*, para analisar e tratar os dados obtidos (Gomes, Mário, 2019). Duas das suas aplicações mais desenvolvidas são o *Sensor Kinetics* e o *Phyphox* (fig.93). Um dos sensores disponíveis no *Phyphox* é o magnetómetro que permite a obtenção de valores do fluxo magnético. O *smartphone* também facilita a aprendizagem pelos estudantes da teoria do campo eletromagnético, sobretudo no que se refere à lei de Biot-Savart (Prastyaningrum, Ihtiari & Jeffry Handhika, 2017).



Figura 93: Screenshots do *Phyphox*.

(Fonte: Gomes, Mário, 2019)

O uso do *smartphone*, num contexto de ensino-aprendizagem, é acompanhado de uma maior motivação por parte dos alunos para a concretização das tarefas, de um aumento das taxas de aprovação (Kuhn, J & Vogt, P., 2015), e da recuperação de alunos que estavam condenados ao fracasso escolar.

Uma das vantagens das TIC, em geral, está em permitir a obtenção de gráficos, como o da posição de uma partícula em função do tempo, da velocidade de uma partícula em função do tempo e da força eletromotriz induzida num circuito em função do tempo. Os gráficos obtidos

podem depois ser usados para explicar funções e resolver problemas (Leinhardt, Gaea & Orit Zaslavsky & Mary Kay Stein, 1990).

8. Resolução de Problemas em Química e Física

No domínio da heurística, Polya, em 1945, propôs um modelo de resolução de problemas constituído por quatro fases: Entendimento do problema (identificar o objetivo e compreender as condições estabelecidas pelo problema); representação interna e externa do problema (modo de armazenar os componentes do problema na mente /e as manifestações físicas desta informação, como, por exemplo, uma fórmula química); execução de um plano de resolução (planear o modo de alcançar a solução); e a verificação do resultado, olhando para trás (conferir o trabalho) (Polya, G., 1957). Ainda no domínio da heurística, Selvaratnam e Frazer desenvolveram, em 1982, uma abordagem estruturada de resolução de problemas composta por cinco etapas: classificação e definição do problema; seleção da equação chave (que relaciona as grandezas físicas com algumas ou todas as grandezas físicas disponíveis a partir dos dados fornecidos do problema); derivação da equação para cálculo (do lado esquerdo fica a grandeza que se pretende conhecer e do lado direito as grandezas conhecidas); recolha de dados e verificação de unidades e cálculos; e, por último, a revisão e a verificação da solução (Frazer, M. J. & M. Selvaratnam, 1982).

Em o segundo volume do livro, *Problemas de Física para o 3.º Ciclo do ensino liceal* (fig.94), editado pela Atlântida, encontramos um conjunto de problemas, orientado para o 7ºAno (da altura) e dividido por quatro áreas da Física (Termodinâmica, Ótica, Magnetismo e Eletricidade).

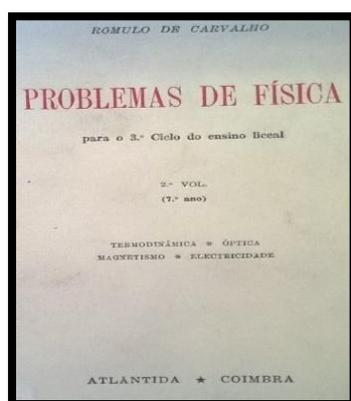


Figura 94: Capa do livro de Rómulo de Carvalho “*Problemas de Física para o 3.ºCiclo do ensino liceal*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1953)

Procurando conectar o capítulo anterior com este, vamos, dentro da área da Eletricidade, abordar e resolver um problema proposto no livro, segundo a abordagem de Selvaratnam e de Frazer.

Na **Caixa III**, está ilustrado o problema 1019 do livro.

Caixa III

1019 – Efectua-se a electrólise da água acidulada de modo a recolher, na mesma campânula, os dois gases que se libertam. Obtêm-se assim, em cinco minutos, 120 cm³ de mistura detonante medidos à temperatura de 15^oC e à pressão normal.

Calcule o valor da intensidade de corrente que se empregou na electrólise.

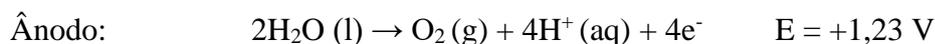
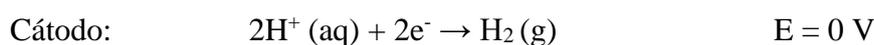
R.: 2,2A

A resolução deste problema faz-se, então, pelas seguintes etapas:

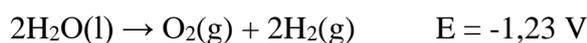
Etapa 1: Clarificação e definição o problema

O objetivo do problema é o cálculo da intensidade de corrente, I, usando a lei de Faraday para a eletrólise da água acidulada. Para tal é necessário calcularmos, em primeiro lugar, o número de moles de oxigénio e de hidrogénio que se libertaram ao fim de 5 minutos.

Neste caso, a eletrólise da água ocorre em meio ácido. Assim, as equações das semirreações de redução e oxidação são as seguintes:



Multiplicando por 2 a primeira reação e somando as duas, obtemos a equação da reação de oxidação-redução para a eletrólise:



Etapa 2 – Seleção da equação chave

A equação chave é a que relaciona a carga fornecida nos cinco minutos, Q, o número de moles de eletrões fornecidos, n (e⁻), e a constante de Faraday, F.

$$n(e^-) = \frac{Q}{F} \text{ (equação 1)}$$

Considerando a intensidade de corrente média ($I = Q/t$), obtemos:

$$n(e^-) = \frac{I \times t}{F} \text{ (equação 2)}$$

Etapa 3- Derivação da equação para cálculo

Começamos por derivar a equação que dá o número de moles da mistura, a partir da equação dos gases ideais.

$$P \times V = n \text{ (total)} \times R \times T \text{ (equação 3)}$$

$$n(\text{total}) = \frac{P \times V}{R \times T} \text{ (equação 4)}$$

De seguida, derivamos a equação que dá o número de moles libertadas de hidrogénio, considerando a estequiometria da reação:

$$n \text{ (total)} = n(\text{O}_2) + n(\text{H}_2) \text{ (equação 5)}$$

$$n \text{ (total)} = 1/2 n(\text{H}_2) + n(\text{H}_2) \text{ (equação 6)}$$

$$n(\text{H}_2) = \frac{2 \times n(\text{total})}{3} \text{ (equação 7)}$$

Introduzindo a equação (4) na equação (7), obtemos:

$$n(\text{H}_2) = \frac{2 \times P \times V}{3 \times R \times T} \text{ (equação 8)}$$

Também pela estequiometria da semirreação de redução:

$$n(e^-) = 2 n(\text{H}_2) \text{ (equação 9)}$$

Introduzindo a equação (9) em a equação (2) obtemos:

$$I = \frac{2 \times F \times n(\text{H}_2)}{t} \text{ (equação 10)}$$

E, por fim, introduzindo a equação (8) na equação (10):

$$I = \frac{4 \times F \times P \times V}{3 \times R \times T \times t} \text{ (equação 10)}$$

Esta é a equação que permite o cálculo.

Etapa 4 – Recolha de dados, verificação de unidades e cálculos

$$t = 60 \times 5 = 300 \text{ s}$$

$$R = 8,314510 \text{ J mol}^{-1} \text{ K}^{-1} \text{ (constante universal dos gases para unidades do sistema internacional)}$$

$$T = 288 \text{ K}$$

$$V = 120 \times 10^{-6} \text{ m}^3$$

$$P = 101325 \text{ Pa}$$

$$F = 9,6485 \times 10^4 \text{ C mol}^{-1}$$

$$I = \frac{4 \times 9,6485 \times 10^4 \text{ A s mol}^{-1} \times 101325 \text{ Jm}^{-3} \times 120 \times 10^{-6} \text{ m}^3}{3 \times 8,314510 \text{ Jmol}^{-1} \text{ K}^{-1} \times 288 \text{ K} \times 300 \text{ s}}$$

$$I = 2,2 \text{ A}$$

Etapa 5 – Revisão e verificação de resultado

Neste problema a solução é apresentada no canto inferior direito da **Caixa III**. Pensamos que é preferível não apresentar a solução do problema, para o aluno ter o cuidado de verificar o resultado. As unidades estão corretas. A resistência da solução, se se utilizasse uma diferença de potencial de 1.23V seria de 0.56Ω, usando a lei de Ohm.

Nas *Aprendizagens Essenciais* está escrito, às páginas tantas, que o aluno deve *aplicar, na resolução de problemas, a Lei de Faraday, interpretando aplicações da indução eletromagnética, explicando as estratégias de resolução e os raciocínios demonstrativos que fundamentam uma conclusão* (República Portuguesa, Educação, 2018). A resolução de problemas, sobre a lei de Faraday, é, deste modo, crucial para o desenvolvimento cognitivo do aluno.

Na **Caixa IV**, está ilustrado um dos problemas, sobre indução eletromagnética, colocados no livro referido anteriormente.

Caixa IV

Coloca-se, no espaço, um anel metálico, fechado, cujo plano é normal às linhas de força do campo magnético terrestre. A área do anel tem 10 dm^2 de superfície e o fio de que é feito tem 40 miliohms de resistência. Roda-se o anel, de um quarto de volta, em torno de um eixo horizontal de modo que o seu plano fica na própria direção das linhas de força do campo.

Calcule o valor da intensidade de corrente de indução que percorre o anel quando executa um quarto de volta em 5 milésimos de segundo, supondo que a intensidade do campo magnético terrestre vale 0,54 oersteds.

R.:0,27 A

A resolução deste problema faz-se, então, pelas seguintes etapas:

Etapa 1: Clarificação e definição o problema

O objetivo do problema é o cálculo do valor da intensidade de corrente induzida num anel metálico que roda um quarto de volta num campo magnético. Neste caso, altera-se o ângulo que o campo magnético faz com a normal à seção plana do anel de espiras.

Etapa 2 – Seleção da equação chave

A equação chave é a que relaciona a força eletromotriz induzida no anel com a variação temporal do fluxo magnético que o atravessa:

$$\varepsilon = -\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Etapa 3- Derivação da equação para cálculo

A corrente induzida no circuito é igual ao quociente entre a força eletromotriz induzida e a resistência do anel. Por outro lado, o módulo do fluxo do campo magnético que atravessa inicialmente o anel é dado por:

$$\Phi_{\text{inicial}} = |\vec{B}| \times A$$

onde A representa a área de seção do anel.

E, como o vetor unitário normal à área de superfície do anel e o campo magnético são perpendiculares, depois do anel rodar um quarto de volta, o fluxo do campo magnético é, no instante final, nulo.

$$\Phi_{\text{final}} = 0$$

Então a equação que permite o cálculo da intensidade de corrente induzida no anel é a seguinte:

$$I = \frac{|\vec{B}| \times A}{R \Delta t}$$

onde R representa a resistência do anel e Δt o intervalo de tempo de indução magnética.

Etapa 4 – Recolha de dados, verificação de unidades e cálculos

$$B = 0,54 \text{ oersteds} = 0,54 \times 10^{-3} \text{ T}$$

$$R = 40 \times 10^{-3} \Omega \text{ (T m}^2 \text{ A}^{-1} \text{ s}^{-1}\text{)}$$

$$\Delta t = 5 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$A = 10 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

$$I = \frac{0,54 \times 10^{-3} \times 10 \times 10^{-2}}{40 \times 10^{-3} \times 5 \times 10^{-3}}$$

$$I = 0,27 \text{ A}$$

Etapa 5 – Revisão e verificação de resultado

As unidades estão corretas e o resultado é plausível.

9. Concepções Alternativas em Química e no Domínio do Eletromagnetismo

As concepções alternativas ou erradas correspondem a ideias enraizadas, acerca da explicação de fenómenos, que diferem das explicações científicas aceites pela comunidade científica e da evidência empírica. Uma das características das concepções alternativas é a sua resistência, impedindo a construção de um conhecimento científico (Birk, J. & A. E. Lawson, 1999).

Em eletroquímica, os alunos podem desenvolver muitas concepções alternativas. Por isso, para além de questões algorítmicas, é necessário que o professor elabore também questões conceptuais que lhe permitam avaliar como os conceitos estão (ou não) estruturados em esquemas na memória de cada aluno. Em baixo, apresentamos três exemplos (1, 2 e 3), retirados do artigo de Michael James Sanger, *Identifying, Attributing, and Dispelling Student Misconceptions in Electrochemistry* (Sanger, Michael James, 1996):

- 1) Observa a célula eletrolítica da figura 95.

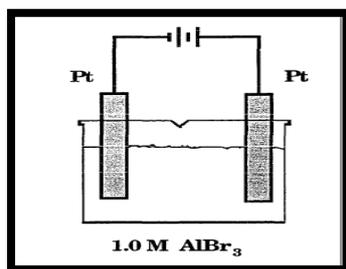


Figura 95

- 1.1 Como determinas qual o eléctrodo que corresponde ao ânodo e qual o corresponde ao cátodo?

Resposta: O ânodo, onde ocorre a reação de oxidação, corresponde ao eléctrodo positivo. O cátodo, onde ocorre a reação de redução, corresponde ao eléctrodo negativo.

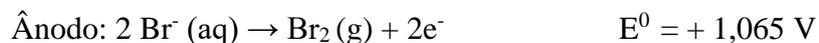
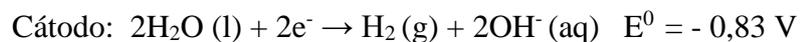
- 1.2 Qual o sentido do movimento das cargas (positivas e negativas) na célula, para completarem o circuito?

Resposta: Os eletrões fluem do ânodo (pólo positivo) para o cátodo (pólo negativo) pelos fios condutores.

Os catiões em solução fluem para o cátodo e os aniões para o ânodo.

1.3 Que reação tem lugar em cada elétrodo?

Resposta:



1.4 Podes prever o valor do potencial para que a reação da eletrólise se inicie?

Resposta: Para que a eletrólise se inicie é necessário aplicar uma diferença de potencial de pelo menos 1,895 V entre os elétrodos, se a pressão for de 1atm e a concentração de 1mol/L.

2) Observa a célula eletroquímica da figura 96.

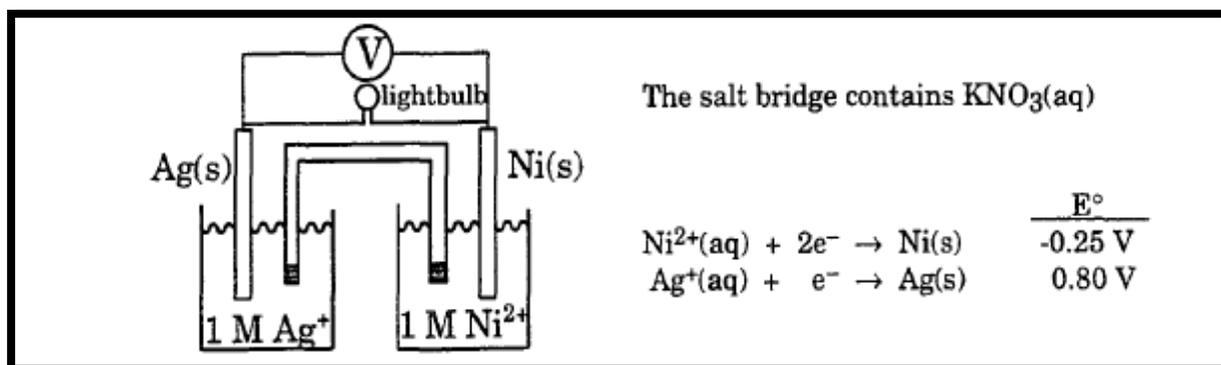


Figura 96

2.1 Qual o valor do potencial padrão da célula?

Resposta: 1,05 V

2.2 Qual o desenho que descreve melhor a reação que ocorre junto do elétrodo de prata?

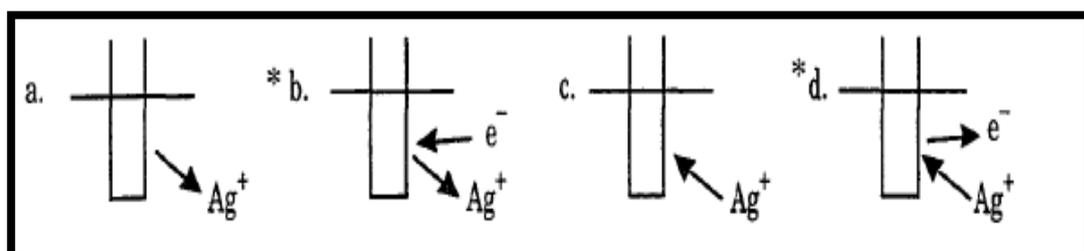


Figura 97

Resposta: c

2.3 Qual o desenho que descreve melhor o deslocamento de iões da ponte salina para a solução de AgNO_3 ?

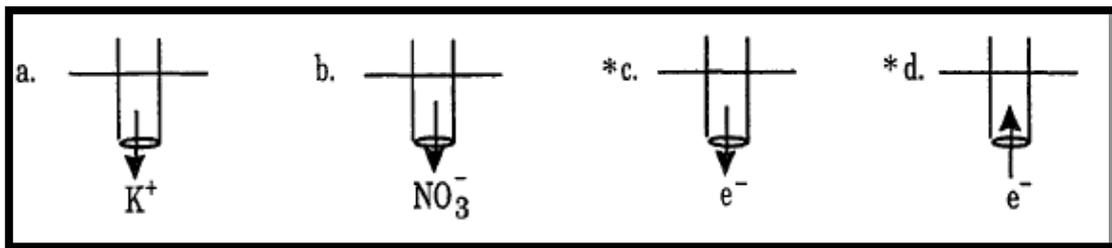


Figura 98

Resposta: a

2.4 Qual o desenho que melhor descreve o deslocamento de iões da ponte salina para a solução de $\text{Ni}(\text{NO}_3)_2$?

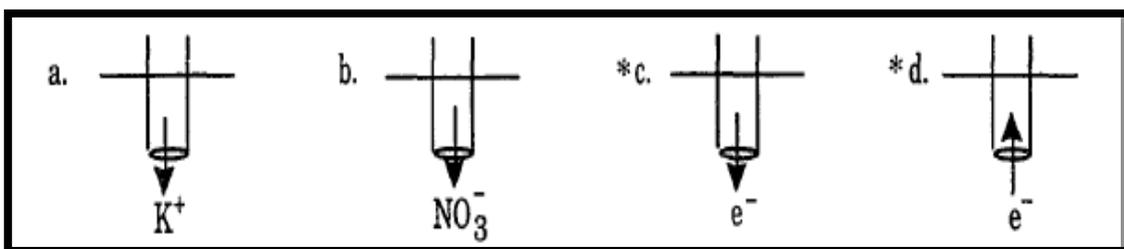


Figura 99

Resposta: b

2.5 Qual o desenho que descreve melhor a reação que ocorre junto do eléctrodo de níquel?

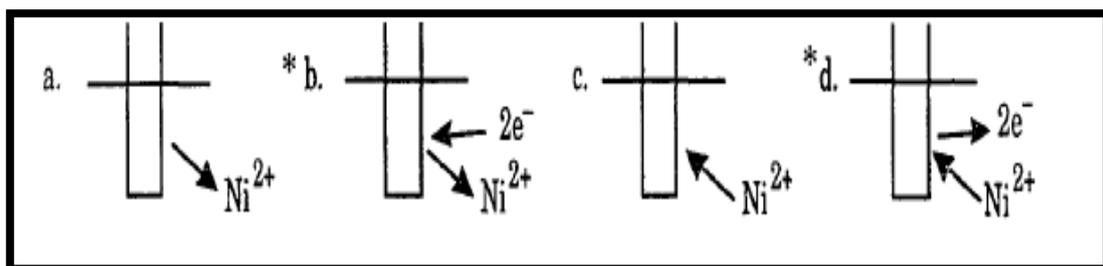


Figura 100

Resposta: a

3) A célula eletroquímica (fig.101), em baixo, indica uma força eletromotriz de 1,10 volts.

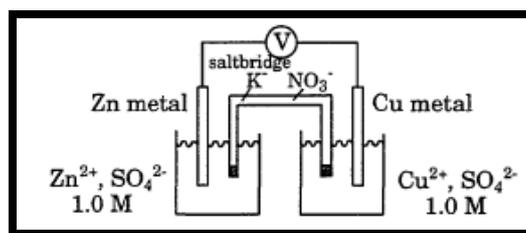


Figura 101

Qual (quais) dos diagramas (fig.102), em baixo, representa(m) melhor cada semi-célula e as reações que ocorrem? Nota: um catião é simbolizado por +, um anião por -, e um eletrão por e⁻.

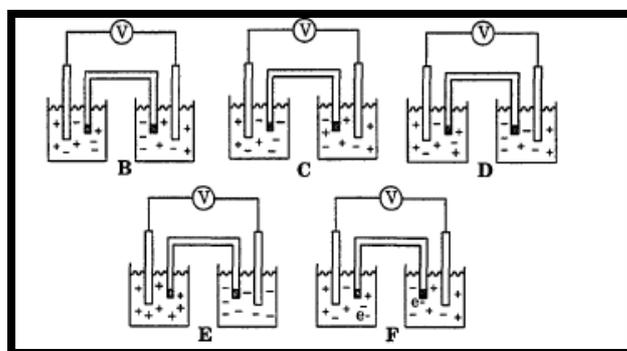


Figura 102

Resposta: B

Nas últimas duas décadas, foram feitos alguns estudos, na área do eletromagnetismo, sobre as conceções erradas dos alunos do ensino secundário (Bar, Zinn & Rubin, 1997; Barrow, L. H., 1987; Erickson, G., 1994; Seroglou, F. & Panagiotis, K. & Vassilis, T., 1998), e no ensino universitário (Bagno, E. & Eylon, B., 1997; Borges, A. T. & Gilbert, J. K., 1998; Galili, I. & Kaplan, D., 1997; Greco, I. M. & Moreira, M. A., 1998; Meneses, J. A. & Caballero, M. C., 1995; Sousa, Pais de, 1997; Velazco, S., 1998). O objeto de estudo variou: as interações entre magnetes (Bar, Zinn & Rubin, 1997; Barrow, L. H., 1987; Maarouf, A. & Benyamna, S., 1997); as forças magnéticas e os campos magnéticos (Borges, A. T. & Gilbert, J. K., 1998; Velazco, S., 1998); os magnetes como fontes de campos magnéticos, através de correntes atómicas; e os fenómenos magnetostáticos.

Destes estudos e de outros concluiu-se que os estudantes entendem que o movimento de uma partícula carregada, num campo magnético, é sempre circular, e que o sentido do movimento é

sempre perpendicular ao campo magnético (Bagno, E. & Eylon, B., 1997); consideram que uma carga elétrica em repouso e num campo magnético está sujeita à força de Lorentz (Cavinato, Michela & Elia Giliberti & Marco Giliberti, 2019); avaliam mal a variação do fluxo magnético para diferentes movimentos de ímanes próximos de espiras condutoras; têm concepções erradas na aplicação da lei de Faraday e na interação entre campos elétricos e magnéticos (Peters, P. C., 1984); revelam confusão entre o significado de campo magnético e do seu fluxo e entre o significado de campo magnético e da sua variação temporal (Cavinato, Michela & Elia Giliberti & Marco Giliberti, 2019)); tomam as linhas de campo magnético como indicando o fluxo do campo magnético (Sağlam, M. & Millar, R., 2006); quando abordam o conceito de linhas de campo, pensam que as linhas são reais (Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & José L. Zubimendi, 2004); apenas uma pequena percentagem de estudantes entende inteiramente os conceitos de “força magnética” e de “campo magnético” (Rossing, T. D., 1995); têm dificuldades em identificar diferentes fontes de um campo magnético, como ímanes e correntes (Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & Ceberio, M., 1999); não distinguem entre nível empírico e nível teórico, o que implica que misturem a referência empírica de um fenómeno magnético (interação magnética) com o contexto teórico da interpretação (campo magnético) (Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & José L. Zubimendi, 2004); entendem que a fonte de um campo magnético é uma carga elétrica, em repouso ou em movimento, e consideram que os magnetes são corpos carregados (Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & José L. Zubimendi, 2004); têm dificuldades em entender a natureza das forças nas cargas em movimento e a indução eletromagnética quando uma corrente elétrica induzida não está presente; julgam que a intensidade da corrente induzida num circuito secundário é a mesma da corrente indutora num circuito primário; e não distinguem força eletromotriz induzida de diferença de potencial de Coulomb nem identificam a origem da força eletromotriz induzida (campo elétrico induzido ou força de Lorentz) (Thong, Wai Meng & Richard Gunstone, 2008).

As metodologias que os investigadores indicam, para combater as concepções dos alunos, passam pelo cálculo de variações de fluxo magnético, intensidades de correntes induzidas e forças eletromotrizes induzidas, usando as leis de Faraday-Neumann-Lenz; pela resolução de problemas e exercícios de aplicação, usando fórmulas como a da força que move um fio condutor num campo magnético; pela discussão do significado formal das leis de Faraday-Neumann-Lenz; pela descrição, no plano formal, da relação entre a força de Lorentz e a força eletromotriz, e pela realização de testes concetuais (Cavinato, Michela & Elia Giliberti & Marco Giliberti, 2019); pelo desenvolvimento de estratégias de ensino que levem o estudante a

visualizar o campo magnético e os seus efeitos (Sağlam, M. & Millar, R., 2006). Por simulações e medições computacionais, porque os estudantes têm dificuldades na conceptualização e na visualização dos conceitos físicos, nomeadamente no que diz respeito aos fenómenos do campo eletromagnético (Dori, Yehudit Judy & Belcher, J., 2005, e Martinez-Jimenez, P & Pontes, E., 2001). A estas podemos acrescentar a realização de atividades experimentais, como Rómulo de Carvalho.

Em baixo, apresentamos alguns exemplos de questões concetuais que o professor pode usar.

- 1) Considera o circuito da figura 103. Uma bobina atravessa uma espira com duas lâmpadas de incandescência idênticas, L_1 e L_2 , ligadas em série. A corrente I na bobina aumenta em função do tempo.

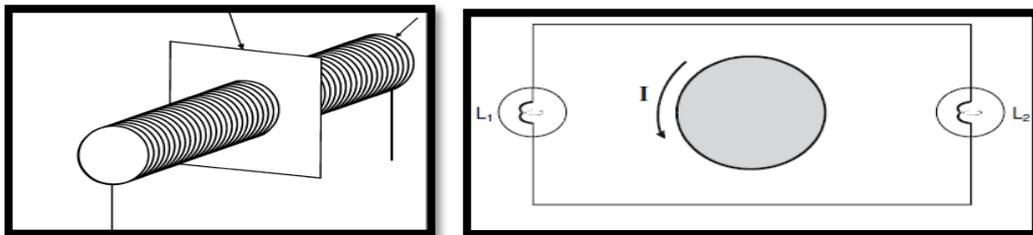


Figura 103

(Fonte: Thong, Wai Meng & Richard Gunstone, 2008)

- 1.1) O brilho das lâmpadas alterar-se-á se for conectado um fio condutor (fig.104)? Justifica, recorrendo à lei de Faraday.

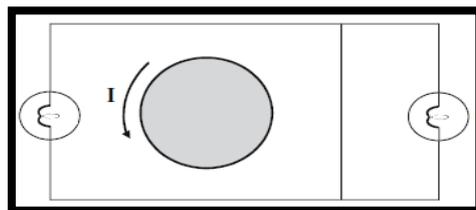


Figura 104

(Fonte: Thong, Wai Meng & Richard Gunstone, 2008)

- 1.2) Considera que se acrescenta uma lâmpada L_3 (fig.105), idêntica às outras duas, no circuito da figura 1. O brilho das três lâmpadas permanecerá o mesmo?

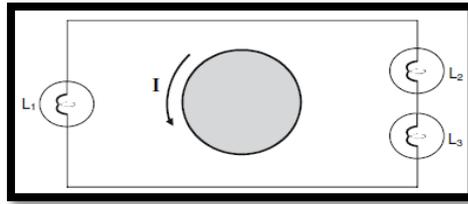


Figura 105

(Fonte: Thong, Wai Meng & Richard Gunstone, 2008)

- 1.3) Considera agora o circuito da figura 106. Uma bobina atravessa uma espira com duas lâmpadas idênticas, L_4 e L_6 , ligadas em série, sendo que uma outra lâmpada idêntica, L_5 , está ligada à lâmpada L_6 em paralelo. A corrente I na bobina aumenta em função do tempo. Que conclusões retiras quanto ao brilho das lâmpadas? E se desenroscar a lâmpada L_6 ?

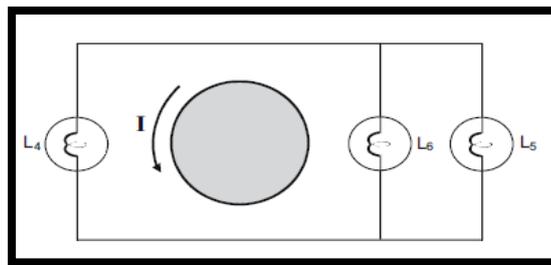


Figura 106

(Fonte: Thong, Wai Meng & Richard Gunstone, 2008)

- 2) Considera um magnete e uma bobina com as extremidades ligadas por fios condutores aos terminais de um amperímetro.
- 2.1) Para induzir uma corrente elétrica no circuito, com o sentido indicado na figura 107, é necessário:
- (a) Mover o magnete para o interior da bobina.
 - (b) Afastar o magnete do interior da bobina.

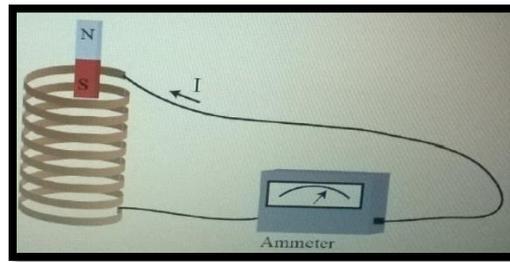


Figura 107

(Fonte: Snelder, M. & J. T. van der Veen, 2014)

2.2) Para que a corrente induzida no circuito seja mais intensa, é necessário:

- (a) Usar um ímã mais forte.
- (b) Usar uma bobina com um diâmetro menor.
- (c) Mover o ímã mais rapidamente.
- (d) Usar uma bobina feita de um material mais resistente.

Justifica a(s) escolha(s).

3) Considera uma espira circular de cobre próxima de uma bobina (fig.108). A espira pode mover-se em três sentidos: 1) Rodar em torno da bobina (à mesma distância da bobina). 2) Mover-se paralelamente ao eixo da bobina e para além dela. 3) Afastar-se da bobina, perpendicularmente ao eixo da bobina. Em que situações há corrente induzida na bobina.

- (a) 1 e 2
- (b) 2 e 3
- (c) 1 e 3
- (d) 1, 2 e 3
- (e) Em nenhuma

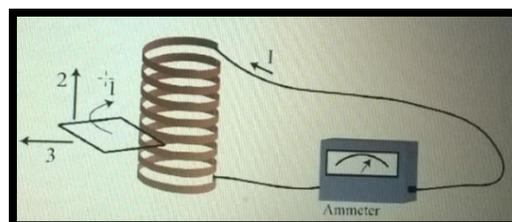


Figura 108

(Fonte: Snelder, M. & J. T. van der Veen, 2014)

- 4) Considera as três montagens representadas na figura 109, em baixo. Na primeira, um magnete é movido para dentro e para fora do interior de uma espira condutora com uma lâmpada de luz. Na segunda, a área da superfície da espira é aumentada. Na terceira, o magnete move-se horizontalmente. Em que montagens, a lâmpada brilhará?
- (a) Em todas
 - (b) 1 e 2
 - (c) 2 e 3
 - (d) 1 e 3
 - (e) Em nenhuma
 - (f) Em um dos três casos, nomeadamente:...

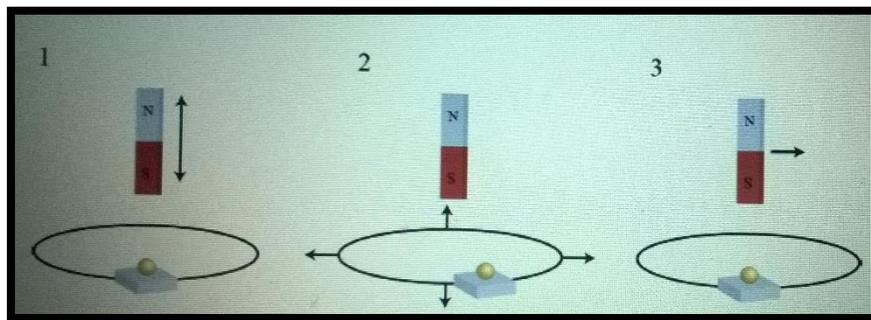


Figura 109

(Fonte: Snelder, M. & J. T. van der Veen, 2014)

- 5) Considera os três sistemas: duas espiras no instante $t = 0s$ e depois de passar uma corrente por elas em sentidos opostos (fig.110); e dois ímãs (fig.111).

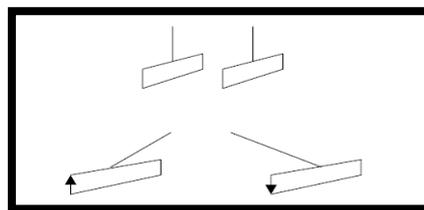


Figura 110

(Fonte: Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & José L. Zubimendi (2004))

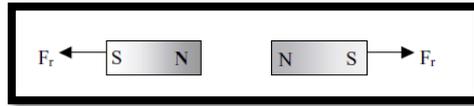


Figura 111

(Fonte: Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & José L. Zubimendi (2004))

- 5.1) Os efeitos repulsivos mostram alguma semelhança entre eles?
 - 5.2) Se, na figura 110, uma das espiras fosse percorrida por uma corrente elétrica de intensidade dupla da que percorre a outra espira, que relação existiria entre o módulo das forças magnéticas?
- 6) Supõe que seguras, em cada uma das mãos, dois tubos iguais de alumínio. Depois, solicitas a um colega que liberte, em simultâneo e na extremidade superior e aberta de cada tubo, um pedaço de madeira num e um ímã (fig. 112), com a mesma massa, noutro. Qual dos dois objetos atinge primeiro o fundo do tubo? Justifica a tua resposta.

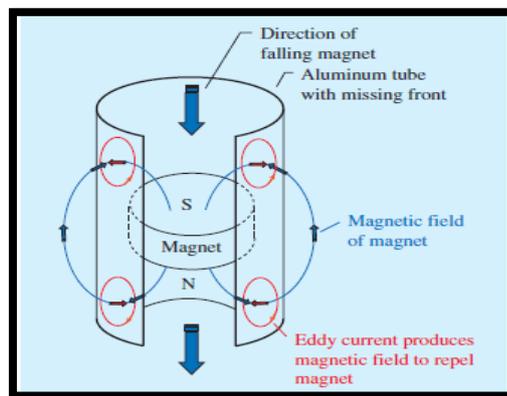


Figura 112

(Fonte: Ruiz, Michael J. & Berls, Rob, 2018)

10. Cadernos de Iniciação Científica

Rómulo de Carvalho apresenta-nos os seus “*Cadernos de Iniciação Científica*” (fig.113) (cujo primeiro volume foi publicado pela Livraria Sá da Costa, em 1979, com o título “*A Descoberta do Mundo Físico*”) como sendo destinados: *a jovens estudantes dos 9 aos 15 anos, [e que] pretendem ser um meio de informação atraente, pela simplicidade da linguagem e pela apresentação gráfica de conceitos fundamentais das ciências físicas sem os quais se torna duvidosa a aquisição consciente de conhecimentos mais elevados* (Carvalho, Rómulo de, 2004).

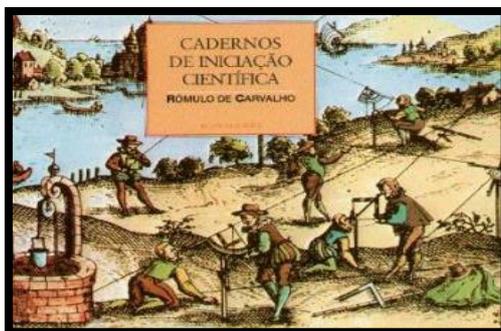


Figura 113: Capa do livro “*Cadernos de Iniciação Científica*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 2004)

Para além de referir o destinatário do livro, adverte os professores de que *Os que se iniciam na Ciência não devem ser forçados nas escolas, à fixação de frases cujo significado concreto não podem ainda alcançar e, segundo o que nos parece, o mais que se deverá procurar conseguir desses principiantes, enquanto principiantes, é que saibam enquadrar os termos científicos em expressões orais ou escritas, em condições de não ofenderem a Ciência* (Carvalho, Rómulo de, 2004). O livro destina-se a alunos que ainda não estão preparados para processar informação e conceitos científicos avançados, pelo que se deve exigir somente que procurem expressar-se e argumentar cientificamente, quer por via oral quer por via escrita, sem recorrerem a estratégias de memorização.

Os “*Cadernos de Iniciação Científica*” são um bom exemplo de clareza, correção e rigor no uso da linguagem química e dos conceitos que lhe estão associados. Assim, podem ser usados quer por alunos de química quer por professores. O nono caderno, *As Reações Químicas*, é exemplificador disso.

Uma transformação química pode ser definida como uma transformação que origina novas substâncias químicas. Aqui é importante distinguir as substâncias que reagem (reagentes) e as que se formam (produtos). Para caracterizarmos as substâncias químicas (elementares ou compostas), testamos as suas propriedades químicas (e se necessário também as físicas), como colocar um indicador de pH numa solução para se saber se ela é ácida ou básica. Como substâncias com propriedades químicas diferentes são quimicamente diferentes, podemos, então, ao identificá-las, saber se estamos perante uma transformação química ou não (Cardoso, A. Correia, 2004). Por outro lado, as propriedades químicas são características das reações químicas. Tomando como exemplo a eletrólise da água, reação sobre a qual já nos debruçámos, um pavio incandescente colocado no tubo (+) incendeia-se com uma chama viva (inflama-se), porque o gás libertado aí, o oxigénio, é comburentes; já, aproximando uma chama do tubo (-), observamos que o gás lá contido, o hidrogénio, arde porque é combustível.

Rómulo de Carvalho começa por definir o conceito de transformação química:

Sempre que há transformação de entidades corpusculares diz-se que se deu uma reação química. As substâncias de que se parte são os reagentes; as substâncias que se obtêm são os produtos da reação. Usam-se estas palavras (reação química, reagentes, produtos da reação) sempre que decorre uma transformação em que determinadas entidades corpusculares dão origem a outras diferentes (Carvalho, Rómulo de, 2004).

Só depois introduz a noção de peso atómico, peso molecular e unidade de massa atómica. A massa de uma entidade elementar (átomo, molécula, ião), expressa nas unidades de massa que usamos correntemente (quilograma, grama, miligrama), é um valor muitíssimo pequeno. Assim, é necessário encontrar um átomo-padrão, em relação ao qual se pese a massa da entidade elementar. Dalton exprimiu-se assim, para estudar a lei das proporções definidas de Joseph Louis Proust:

Análise química e síntese não vão além da separação de partículas umas das outras, e da sua reunião. Nem a criação ou destruição da matéria está ao alcance do agente químico[...]. Em toda a investigação química justamente tem sido considerado um importante objetivo para averiguação, os pesos relativos das unidades que constituem um composto. Mas, infelizmente, a investigação tem terminado aqui; entretanto a partir dos pesos relativos em massa, os pesos relativos das 'últimas partículas' ou átomos dos corpos podem ter sido inferidos, dos quais seu número e peso em vários outros

compostos apareceriam, de forma a ajudar e guiar investigações futuras e a corrigir seus resultados (...) (Oki, Maria da Conceição Marinho, 2009).

O primeiro átomo a ser usado como padrão foi o de hidrogénio. Dalton, Humphry Davy, Thomas Thomson, William Wollaston e Berzelius, apresentaram tabelas de pesos atômicos, tomando como referência o hidrogénio, que foram sendo progressivamente melhoradas, à medida que se faziam as correções necessárias às fórmulas químicas de certas substâncias. Depois do hidrogénio, passou a usar-se o oxigénio, como átomo padrão. Jean-Servai Stas apresentou uma tabela de pesos atômicos calculados em relação ao peso atômico do oxigénio-16. Atualmente usa-se, como padrão, o átomo de carbono-12. Sobre isto, Rómulo de Carvalho escreve:

Convencidos de que os átomos existiam interessava-lhes, como é evidente, saber quanto pesaria o átomo de cada um dos elementos. Como isso não lhes foi possível conseguir, procuraram seguir outro caminho: descobrir as relações que haveria entre os valores desses pesos, isto é, saber quantas vezes o átomo de um elemento seria mais ou menos pesado do que um átomo de um outro, embora não soubessem quanto valia, separadamente, o peso de cada um. e, adiante: De acordo com este ponto de vista conseguiram determinar os «pesos relativos dos átomos», a que deram o nome de pesos atômicos (Carvalho, Rómulo de, 2004).

Assim, para um determinado átomo, a massa atômica exprime-se por um número que dá a relação entre a massa desse átomo e a massa de 1/12 oitavos da massa do átomo de carbono-12. A massa, que pretendemos conhecer, designa-se por massa atômica relativa e o seu número é adimensional. No entanto, considerou-se que a massa de 1/12 oitavos da massa do átomo de carbono-12 definiria uma nova unidade de massa. A essa unidade de massa atribuiu-se o nome de unidade de massa atômica, representada por u (ou dalton, d), como escreve Rómulo de Carvalho:

Atualmente usa-se um termo de comparação, ou seja, uma unidade, que também foi escolhida à escala atômica, como não podia deixar de ser, e se designa por unidade de massa atômica. O seu símbolo é a letra u (que resulta da simplificação u.m.a, unidade de massa atômica). As tabelas que hoje se apresentam nos livros de Química são tabelas de massas atômicas e os valores nelas inscritos referem-se à unidade de massa atômica. E, sobre as letras que se encontram na tabela periódica, que: Não se trata de abreviaturas dos nomes dos elementos com o fim de simplificar a escrita. Essas letras

representam não só os elementos como também os valores das suas massas atómicas expressos em unidades u. Assim o símbolo Fe representa o valor da massa atómica do ferro, ou seja 55,8u (Carvalho, Rómulo de, 2004).

A massa de 1 mole de entidades elementares (átomos, moléculas, iões) designa-se, como sabemos, por massa molar (M) e, no caso dos átomos, é, em valor numérico, igual ao valor que se encontra nas tabelas periódicas. Considerando o caso do ferro, um átomo possui a massa de $9,26 \times 10^{-23}$ g:

$$m = M/N_A$$

$$m = 55,8 \text{ g mol}^{-1} / 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$m = 9,26 \times 10^{-23} \text{ g}$$

Já a massa correspondente a uma mole de átomos de ferro é dada por:

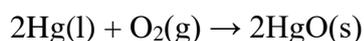
$$M = 9,26 \times 10^{-23} \text{ g} \times 6,022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$$

$$M = 55,8 \text{ g mol}^{-1}$$

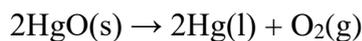
A massa de 1/12 oitavos da massa do átomo de carbono-12 corresponde a $1,6661 \times 10^{-24}$ g. Como a massa de um átomo de ferro é de $9,26 \times 10^{-23}$ g, a massa de uma mole de átomos de ferro, em unidades de massa atómica, é dada por:

$$M = 9,26 \times 10^{-23} \text{ g} / 1,6661 \times 10^{-24} \text{ g} = 55,8u$$

As origens das equações químicas estão, tudo indica, no livro de Antoine Lavoisier, *Tratado Elemental de Química*, de 1789, isto é, no final do século dezoito. Uma das reações que Lavoisier estudou foi a reação de combinação do mercúrio, líquido prateado, com o oxigénio, a quente, formando-se a cal mercurial (Carvalho, Rómulo de (2004)):



Nesta reação, o químico francês usou mercúrio em excesso e mediu o oxigénio consumido. Então, questionou-se a si próprio sobre o destino desse oxigénio. Uma das hipóteses que aventou foi a de que o oxigénio tivesse reagido com o mercúrio. Se assim fosse, seria possível obtê-lo, realizando uma nova experiência, por aquecimento do óxido de mercúrio vermelho que se formou (Carvalho, Rómulo de, 2004). Foi isto que Lavoisier fez, obtendo mercúrio, por decomposição da cal mercurial, e oxigénio.



Avaliando estas duas reações, o químico francês concluiu que: o mercúrio quando calcinado, na presença de ar, origina o óxido de mercúrio; por aquecimento, o óxido de mercúrio decompõe-se em mercúrio e oxigénio; e o peso do óxido de mercúrio decomposto é igual à soma dos pesos de mercúrio e oxigénio obtidos (Carvalho, Rómulo de, 2004).

A última das suas conclusões, a da igualdade da massa antes e depois da reação, foi o passo derradeiro para que representasse a reação química na forma de uma equação algébrica, embora, como ainda não se conheciam os símbolos dos elementos químicos, fosse uma equação traduzida em palavras:

óxido de mercúrio (sólido) → mercúrio (líquido) + oxigénio (gasoso)

Depois dos trabalhos de Dalton e Avogadro, aqui já referidos, e da introdução, por Berzelius, dos símbolos químicos dos elementos químicos, formados por uma ou duas letras (abreviaturas de cada elemento químico), a equação química passou a escrever-se por:

calor



Só no século XX o símbolo “→” substituiu o símbolo “=” (Carvalho, Rómulo de (2004)).

Rómulo de Carvalho define, de forma exata, equação química, *A representação escrita de uma reação química por meio de símbolos, conforme exemplificámos, designa-se por equação química*. E, também, fórmula molecular de uma substância e o que representa: *As representações simbólicas das moléculas dos elementos ou dos compostos chamam-se fórmulas moleculares. [...] a fórmula molecular de uma substância representará a massa molecular dessa substância*. Assim como nos diz que os símbolos químicos: *representam não só os elementos como os valores das suas massas atómicas expressos em unidades u* (Carvalho, Rómulo de, 2004).

Para que escrevamos uma reação química, teremos de conhecer os reagentes e os produtos que se formam, e, também, as fórmulas químicas de cada um (que se obtêm experimentalmente, determinando a massa molecular). A fórmula molecular do óxido de mercúrio (HgO) permite-nos distingui-lo de outras substâncias, e, para além disso, saber quais os átomos que a constituem. Rómulo de Carvalho, em “*As Reações Químicas*”, também aborda as notações

simbólicas, nomeadamente no que se refere à fase em que se encontra uma substância e à utilidade do uso dos símbolos químicos:

usando a letra g entre parênteses curvos para informar que as referidas substâncias se encontravam, durante a reação, em fase gasosa. Quando se trata de substâncias que se encontram em fase líquida ou sólida usam-se as letras l ou s também dentro de parênteses curvos. [...] Fazendo uso dos símbolos dos elementos representa-se a molécula do hidrogénio por H₂. O algarismo 2 destina-se a indicar que se trata de 2 átomos, e o modo como o algarismo está colocado em relação à letra H tem a sua razão de ser. Se escrevêssemos 2H também quereríamos dizer 2 átomos de hidrogénio, mas escrevendo-se H₂ quer-se dizer que os 2 átomos estão ligados entre si formando uma molécula, enquanto 2H indicaria 2 átomos de hidrogénio independentes um do outro (Carvalho, Rómulo de, 2004).

Como sabemos, existem três tipos de notações simbólicas: letras-símbolos, usadas para representar elementos químicos (como Fe), unidades de medida (Pa, para pascal) e grandezas físicas (T, para temperatura); símbolos icónicos ou ícones (como [] para a concentração, +, →); e a combinação dos dois primeiros (SO₃²⁻, para representar o ião sulfato, ΔH, a variação de entalpia, e (s), a fase sólida) (Cardoso, A. Correia, 2004).

Em “*As Reações Químicas*”, Rómulo de Carvalho também define corretamente o conceito de mole, embora, depois, o associe ao número de Avogadro e à massa de uma mole, podendo gerar-se alguma confusão:

Os químicos serviram-se do número de Avogadro (6,02 x 10²³) para com ele estabelecerem a unidade de uma grandeza a que chamam «quantidade de substância». Essa unidade chama-se mole e o seu símbolo é mol. Usando este termo na linguagem química diremos que os valores numéricos relativos aos símbolos dos elementos, quando expressos em gramas, correspondem à massa de 1 mole de átomos. Analogamente os valores numéricos, expressos em gramas, relativos às fórmulas moleculares correspondem à massa de 1 mole de moléculas (Carvalho, Rómulo de, 2004).

A mole é o nome da unidade básica do SI usada para a quantidade “quantidade química”. O seu símbolo é mol. Por outro lado, a massa de uma dada substância, constituída por entidades elementares, é dada por:

$m = m(\text{lee}) \times N_A \times n$ (onde 'n' representa a quantidade química e ' N_A ' a constante de Avogadro)

e, conseqüentemente, como o produto da massa de uma entidade elementar pela constante de Avogadro ($6,02 \times 10^{23} \text{mol}^{-1}$) é dado por $M(\text{ee})$, podemos reescrever a equação como:

$m = M(\text{ee}) \times n$ (onde $M(\text{ee})$ representa a massa molar da substância)

Da equação da reação de decomposição do óxido de mercúrio, por aquecimento, podemos então retirar a seguinte informação: o mercúrio e o oxigénio são substâncias simples e o óxido de mercúrio é uma substância composta; o óxido de mercúrio apresenta-se em fase sólida, o mercúrio em fase líquida e o oxigénio em fase gasosa; o sinal "+" na equação química significa "reage com"; o símbolo "→" tem o significado de "forma-se" ou "produz-se"; os coeficientes estequiométricos permitem-nos concluir que: duas "moléculas" de óxido de mercúrio se decompõem em dois átomos de mercúrio e uma molécula de oxigénio (ou uma mole de "moléculas" de óxido de mercúrio decompõem-se em 2 moles de átomos de mercúrio e numa mole de moléculas de oxigénio); a reação processa-se por fornecimento de energia sob a forma de calor; o óxido de mercúrio é constituído por um ião Hg^{2+} e um ião O^{2-} que se encontram ligados, por meio de ligação iónica; na molécula de O_2 , dois átomos de oxigénio estão ligados entre si; o mercúrio metálico é constituído por átomos de Hg.

10.1 Reação Catalítica de Decomposição do Peróxido de Hidrogénio

Agora que já sabemos escrever a equação de uma reação química, vamos estudar, por exemplo, a reação catalítica de decomposição de moléculas de peróxido de hidrogénio em água e oxigénio gasoso:



Esta reação de dismutação processa-se de forma muito lenta. Todavia, Rómulo de Carvalho sugere que adicionemos dióxido de manganésio pulverizado (MnO_2), como catalisador, para que se torne rápida (também se poderá usar iodeto de potássio em solução aquosa ou o permanganato de potássio) (Carvalho, Rómulo de, 2004). Quanto ao oxigénio libertado, já sabemos como se poderá identificar. Um catalisador é, então, uma substância que modifica a

velocidade de uma reação sem ser consumido durante o processo. Para uma reação num sistema isolado, o catalisador diminui a energia de ativação da reação e aumenta a velocidade da reação direta e inversa, atingindo-se mais rapidamente o equilíbrio químico. Rómulo de carvalho define assim catálise e catalisadores:

Trata-se de substâncias que adicionadas aos reagentes provocam variações nos valores das velocidades das reações, e que desse modo até permitem que se deem reações que, sem eles, praticamente não se dariam. Tal fenómeno chama-se catálise, e explica que a velocidade de uma reação se relaciona com: as massas dos reagentes que se consomem num dado intervalo de tempo ou com as massas dos produtos da reação que se formam nesse mesmo intervalo de tempo (Carvalho, Rómulo de, 2004).

Esta atividade laboratorial (a reação catalítica de decomposição de moléculas de peróxido de hidrogénio) poder-se-á realizar no 12.º Ano de escolaridade, para que o aluno identifique um catalisador como um agente que atua apenas sobre a velocidade da reação e distinga catálise homogénea de catálise heterogénea de acordo com o estado físico do(s) reagente(s) e do catalisador.

Para o efeito, realizámos, em laboratório e no Dia Aberto da Escola Secundária Infanta Dona Maria, esta reação, primeiro, usando como catalisador o permanganato de potássio (fig.114 a, b e c), depois, usando uma solução aquosa (e o sal) de iodeto de potássio (fig.115 a, b, c e d). Uma vez que o peróxido de hidrogénio é corrosivo, deixando a pele com manchas brancas, e a reação é violenta, usámos luvas e óculos de proteção.



(a)

(b)

(c)

Figura 114 a, b e c: Reação de decomposição do peróxido de hidrogénio, usando um sal de permanganato de potássio como catalisador. O peróxido de hidrogénio é adicionado ao catalisador.

(Fonte: Laboratório do departamento de Química da FCTUC.)



(a)

(b)

(c)

(d)

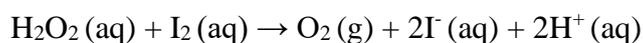
Figura 115 a e b: Reação de decomposição do peróxido de hidrogénio, usando um sal de iodeto de potássio como catalisador. Fig.115 c e d: Reação de decomposição do peróxido de hidrogénio, usando uma solução aquosa de iodeto de potássio, como catalisador, um pouco de detergente e um corante.

(Fonte: Laboratório da Escola Secundária Infanta D. Maria.)

A catálise do peróxido de hidrogénio com a solução aquosa de iodeto de potássio é uma catálise homogénea, porque o catalisador se encontra na mesma fase do que a solução aquosa de peróxido de hidrogénio (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000). Esta reação ocorreu em duas etapas, não se verificando qualquer alteração de cor e libertando-se oxigénio e gotículas de água. Identificámos o oxigénio, aproximado uma pequena chama que se inflamou.



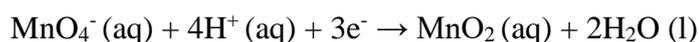
Número de oxidação: +1 -1 -1 +1 0 +1 -2



Número de oxidação: +1 -1 0 0 -1 +1

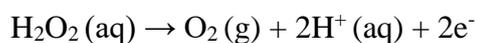
Ao se usar o permanganato de potássio como catalisador, assim que lhe adicionámos o peróxido de hidrogénio observámos inicialmente o aparecimento de uma solução com uma tonalidade roxa nas paredes do balão e, depois, uma solução negra. A tonalidade roxa é devida à presença do ião permanganato em solução, e a tonalidade negra à presença do dióxido de manganésio. Esta catálise é também homogénea, porque os iões do sal de permanganato e a solução aquosa de peróxido de hidrogénio estão na mesma fase.

A equação da reação de redução é a seguinte:



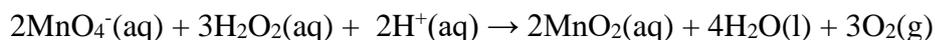
Número de oxidação: +7 -2 +1 +4 -2 +1 -2

E a de oxidação:



Número de oxidação: +1 -1 0 +1

De modo que a equação da reação é dada por:

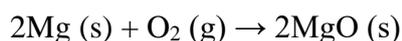


O manganésio é um metal de transição que pode apresentar-se em vários estados de oxidação. Os principais estados de oxidação do manganésio são: +2,+3,+4 e +7. Outros estados de oxidação conhecidos são: +1,+5 e +6.

10.2 Reação Química Endotérmica

Rómulo de Carvalho define uma reação química que *decorre com libertação de calor*, como exotérmica. Já as reações químicas que *necessitam de energia para se poderem dar*, define-as como endotérmicas (Carvalho, Rómulo de, 2004). Durante um processo exotérmico ocorre libertação de energia sob a forma de calor pelo sistema para o exterior, e, durante um processo endotérmico, energia sob a forma de calor é cedida pelo exterior ao sistema. Se o sistema estiver isolado, num processo exotérmico, a energia libertada, fica no sistema sob a forma de energia térmica e a sua temperatura aumenta; se o sistema estiver isolado, num processo endotérmico, o aumento de energia potencial do sistema é conseguido à custa da energia térmica do mesmo sistema e este sofre, assim, uma diminuição de temperatura.

A combustão do magnésio é um exemplo de uma reação exotérmica.

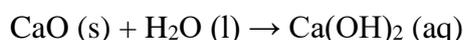


Para esta reação ocorrer é necessário, inicialmente, elevarmos a temperatura do sistema, isto é, é necessária uma energia de ativação. Rómulo de Carvalho adverte o leitor para ter cautela na classificação das reações, porque *em muitas reações a energia transferida inicialmente para os reagentes é apenas uma energia de ativação, nome que se dá à energia que é necessário transferir para os reagentes com o fim de desencadear o processo, sem que isso signifique que a reação seja endotérmica* (Carvalho, Rómulo de, 2004).

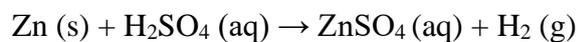
A decomposição do carbonato de cálcio por aquecimento é uma reação endotérmica, porque é necessário transferir energia sob a forma de calor para o carbonato a fim de provocar a sua decomposição. Para esta reação ocorrer, a temperatura do sistema tem de ser bem alta, de modo que, durante a reação, a energia absorvida do exterior seja distribuída por um volume maior devido à formação de dióxido de carbono gasoso.



Quando dissolvemos o óxido de cálcio em água, forma-se hidróxido de cálcio e a reação é, por sua vez, exotérmica, ocorrendo com libertação de energia sob a forma de calor. Os iões de cálcio e de hidróxido vão espalhar-se por toda a solução aquosa.



Uma outra reação exotérmica ocorre quando mergulhamos zinco em pó em ácido sulfúrico, contido num copo, e o copo aquece. Para além de se formar hidrogénio gasoso, os iões de zinco e de sulfato dissolver-se-ão em solução aquosa.



Uma das atividades que realizámos em laboratório (**Caixa V**), na escola secundária Infanta Dona Maria, em Coimbra, foi a da reação do hidróxido de bário octahidratado sólido com o nitrato de amónio sólido (fig.116). Durante esta reação, que podemos efetuar no 10.ºAno de escolaridade, a temperatura do sistema que envolve os reagentes pode descer até aos 45°C.

Caixa V**Observação de uma reação endotérmica espontânea****Material:**

- Copo de 100 ml
- Sensor de temperatura da Vernier
- Placa de madeira
- Vareta de vidro
- Balança digital
- Vidro de relógio

Reagentes:

- Hidróxido de bário octahidratado sólido
- Nitrato de amónio sólido (seco)
- Cloreto de amónio sólido (seco)
- Tiocianato de amónio sólido (seco)

Procedimento:

1. Pesa cerca de 17g de nitrato de amónio seco e cerca de 32g de hidróxido de bário octahidratado, usando uma balança digital e vidros de relógio.
2. Coloca-os num copo de 100ml, limpo e seco.
3. Coloca, no interior do copo de 100ml, o sensor de temperatura e liga-o à interface.
4. Coloca o copo sobre um bloco de madeira molhado.
5. Mistura, com uma vareta de vidro e cuidadosamente, as duas substâncias e observa como varia a temperatura em função do tempo.
6. Após dois ou três minutos de agitação, levanta, devagar e com a mão, o copo (o copo está colado ao bloco de madeira!)
7. Repete os passos anteriores, usando tiocianato de amónio seco e cloreto de amónio seco.

Segurança: Evita inalar o amoníaco libertado para a atmosfera.

Os sais de bário são tóxicos.

As reações ocorrem num sistema fechado e são as seguintes:

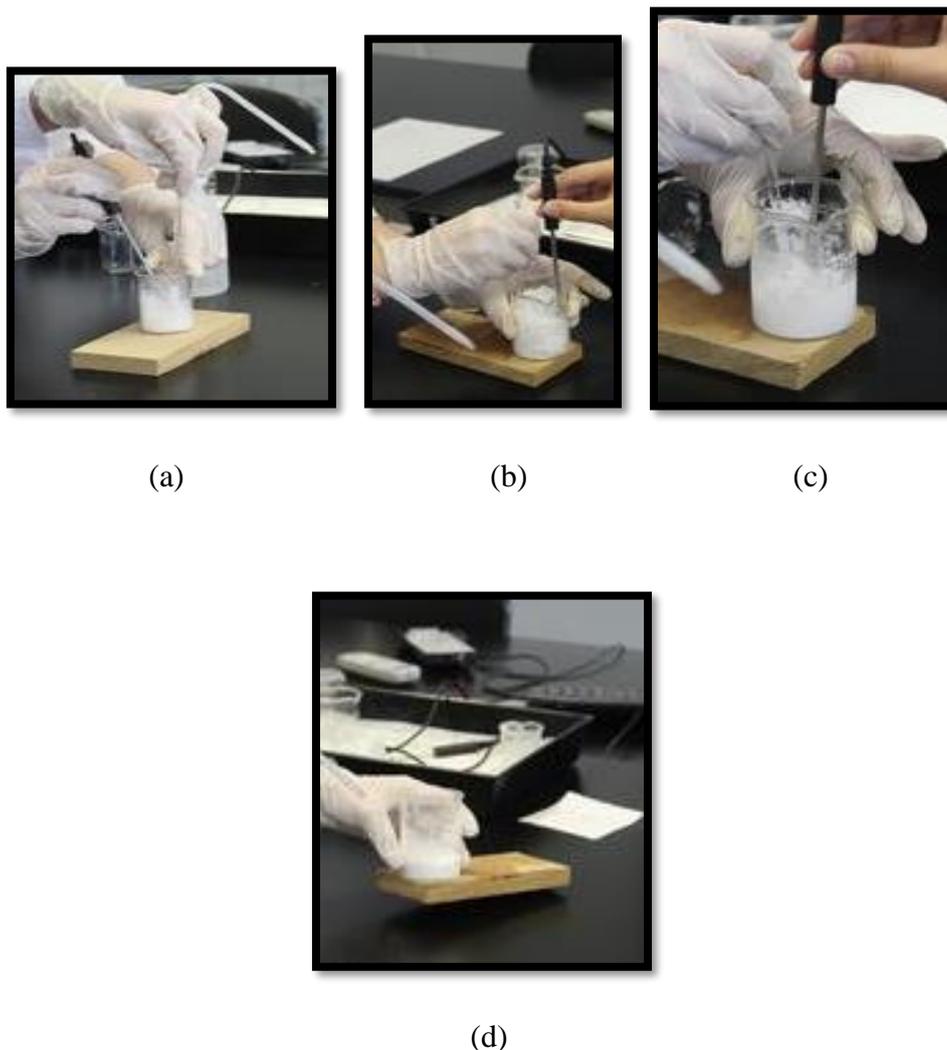


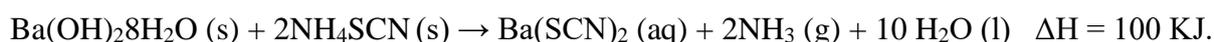
Figura 116 a, b, c e d: Reação do hidróxido de bário octahidratado sólido com o nitrato de amónio sólido.

(Fonte: Laboratório da Escola Secundária Infanta D. Maria.)

Todas estas reações são endotérmicas, ocorrem por absorção de energia sob a forma de calor. Como o sistema não é isolado, este absorve energia do meio exterior até ser atingido o equilíbrio térmico. A temperatura do meio exterior diminui acentuadamente, provocando o congelamento da água no bloco de madeira e a condensação de vapor de água da atmosfera. A placa de madeira fica, assim, “colada” ao copo. Como há absorção de energia sob a forma de calor e se forma

uma solução aquosa de iões e se liberta amoníaco gasoso, há, durante cada uma das reações, uma dispersão da energia, pelas moléculas e pelos iões, de um pequeno volume para um volume maior.

Para a reação entre o hidróxido de bário octahidratado e o tiocianato de amónio, a variação de entalpia tabelada é de 100KJ. Durante esta reação, o calor absorvido pelo sistema a pressão constante é de 100KJ. Como a variação de entalpia é maior do que zero ($\Delta H > 0$) a pressão constante, a reação é endotérmica.



Nesta reação, como as ligações nos reagentes são mais fortes do que as ligações nos produtos, o sistema reagente tem menor energia potencial do que o sistema dos produtos (fig.117). Assim, é requerida mais energia para quebrar as ligações entre os sais dos reagentes do que a energia libertada na formação das moléculas de amoníaco.

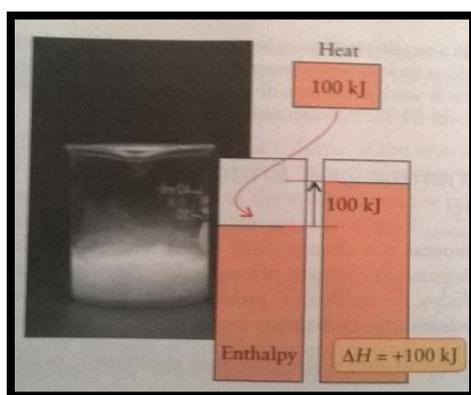


Figura 117: Diagrama da variação de entalpia da reação endotérmica entre o hidróxido de bário octahidratado e o tiocianato de amónio.

(Fonte: Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000)

10.3 Explicação das Correntes numa Eletrólise

Neste trabalho, já nos debruçámos sobre o estudo da eletrólise de uma solução eletrolítica de cloreto de sódio, usando eléctrodos de cobre. Ora, para explicarmos todo o processo, podemos

nos cingir ao décimo terceiro caderno dos “*Cadernos de Iniciação Científica*”, *A Corrente Elétrica*.

Rómulo de Carvalho começa por explicar que a razão de um metal ser condutor de eletricidade não é a mesma de uma solução aquosa ser também condutora: *Em ambos os casos a condutibilidade elétrica é devido à existência de entidades corpusculares eletrizadas, móveis, ou seja, de portadores de carga, mas esses portadores de carga é que são diferentes num caso e noutro. No caso dos metais os portadores de carga são eletrões; no caso das soluções aquosas são iões* (Carvalho, Rómulo de, 2004). Assim, nos elétrodos de cobre os portadores de carga são os eletrões e na solução aquosa de cloreto de sódio são os iões.

De seguida, Rómulo de Carvalho apresenta a razão do que foi dito anteriormente, e ela reside na estrutura cristalina do metal e do sal com que se faz a solução. O cobre é formado por uma rede de iões positivos ou catiões (átomos privados dos dois eletrões de valência), onde, esses eletrões livres ou de condução, desligados do núcleo, vagueiam e garantem a condutibilidade elétrica. Dito de outro modo, como cada átomo de cobre tem dois eletrões de valência, que estão ligados fracamente ao núcleo do átomo, quando o cristal se forma estes eletrões desligam-se do átomo e tornam-se livres, podendo mover-se pelo cristal. São também estes eletrões de condução que protegem os catiões de se repelirem uns aos outros, por meio de forças eletrostáticas. Ora, se o movimento destes eletrões for orientado num determinado sentido, estar-se-á na presença de uma corrente elétrica: *o seu movimento, quando for orientado, constituirá um fluxo continuado de portadores de carga e, portanto, uma corrente elétrica* (Carvalho, Rómulo de, 2004). No caso da estrutura cristalina do cloreto de sódio, a rede é constituída por aniões e por catiões. No estado cristalino cada átomo de sódio perde o seu eletrão de valência para um átomo de cloro vizinho, dando origem, por meio das forças eletrostáticas, a um cristal iónico contendo catiões e aniões. Quando se dissolve o cloreto de sódio em água, a rede cristalina desmorona-se nos seus iões, podendo a solução tornar-se condutora. O cloreto de sódio é, então, um eletrólito, e a solução que origina uma solução eletrolítica: *As substâncias sólidas que originam soluções aquosas condutoras chamam-se eletrólitos, e são cristais iónicos (...)* (Carvalho, Rómulo de, 2004).

Considerando, agora, as reações em cada um dos elétrodos, Rómulo de Carvalho começa por definir elétrodo: *Designa-se por elétrodo um condutor sólido em contato com uma solução eletrolítica* (Carvalho, Rómulo de, 2004). Os dois elétrodos estão mergulhados na solução eletrolítica de cloreto de sódio e ligados por um fio condutor. Depois das observações, pode-se

interpretar os fenómenos. Na solução aquosa de cloreto de sódio estão presentes os iões sódio e os iões cloreto na proporção de 1:1. Na superfície de um eléctrodo de cobre formou-se cloreto de cobre (II), devido à combinação de iões de cobre (II), provenientes da oxidação do cobre do eléctrodo, com iões cloreto. Na superfície do outro eléctrodo de cobre formaram-se hidrogénio e iões hidroxilo, devido à redução dos elementos de hidrogénio da água. Assim, estar-se-á em condições de retirar várias conclusões: neste processo, geram-se, a quando da aplicação de uma tensão eléctrica entre os eléctrodos, duas correntes na solução: uma graças aos iões de cloro e a outra graças aos iões de sódio (a corrente anódica e a corrente catódica, respetivamente); um dos eléctrodos de cobre enriquece-se com electrões, porque cada átomo de cobre do eléctrodo que é oxidado abandona dois electrões, enquanto que o outro eléctrodo de cobre cede electrões (esta tendência depende, entre outros fatores, da natureza do eléctrodo, da natureza dos iões em solução e da concentração nela) e enriquece-se com cargas positivas (catiões da rede cristalina do metal), porque dois dos elementos de hidrogénio das duas moléculas de água recebem dois electrões e são reduzidos; como os dois eléctrodos estão ligados por um fio condutor, os electrões acumulados, no eléctrodo onde ocorreu a oxidação, escapam-se para o eléctrodo onde há defeito de electrões, originando-se uma corrente eléctrica.

A tendência para o eléctrodo de cobre perder electrões livres, para a solução aquosa de cloreto de sódio, depende da energia potencial dos mesmos. Quando se mergulha o eléctrodo na solução, a energia potencial que os electrões livres adquirem pode facilitar (ou não) a reação entre o eléctrodo e a solução (Carvalho, Rómulo de, 2004).

A convenção estabelecida para a corrente eléctrica é a seguinte: *o sentido de uma corrente eléctrica é o sentido em que se deslocam os portadores de carga positiva* (Carvalho, Rómulo de, 2004). Assim, no fio condutor, é o sentido contrário ao do movimento que os electrões livres adquirem. A corrente eléctrica tem o sentido do cátodo (pólo negativo), onde ocorre a redução, para o ânodo (pólo positivo), onde ocorre a oxidação.

11. Regras para Determinar o Sentido do Campo Magnético na Experiência de Oersted e da Corrente Induzida na Experiência de Faraday

Nem sempre é tarefa fácil, para os alunos, determinar o sentido do campo magnético criado por uma corrente elétrica contínua, na experiência de Oersted. A mesma dificuldade se verifica na determinação do sentido da corrente induzida numa espira, na experiência de Faraday. O uso de imagens, diagramas, filmes e simulações deve ser usado pelo professor para contornar este problema:

Science and technology develop through the exchange of information, much of which is presented as still and moving images, diagrams, illustrations, maps, plots, and models that summarize information, and help others to understand scientific data and phenomena. (...) We also strongly believe that teachers and students need to incorporate visualizations in the teaching and learning of scientific phenomena and processes, especially when dealing with abstract concepts such as electromagnetism (Dori, Yehudit Judy & Belcher, J., 2015).

Uma imagem vale, neste caso, mais do que mil palavras:

Pictures are superior to words for remembering concrete concepts (Rieber, L. P., 2002).

Na experiência de Oersted, um fio condutor percorrido por uma corrente elétrica cria um campo magnético que desvia uma agulha, nas suas proximidades, colocada paralelamente ao fio. Para conhecermos o sentido do campo magnético, são apresentadas, em figuras, no livro “*Física para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*”, três regras. A primeira regra é a dos dedos curvos da mão direita (fig.118), ou simplesmente a regra da mão direita. Neste caso o polegar indica o sentido da corrente elétrica, enquanto os dedos restantes se curvam para a palma da mão, indicando o sentido do campo magnético.

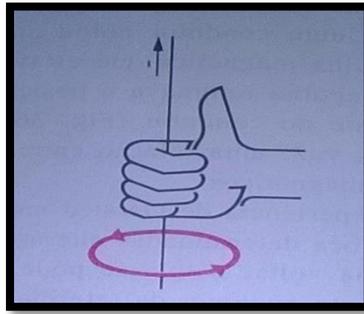


Figura 118: Regra da mão direita.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

A segunda regra, a do observador de Ampère (fig.119), consiste na colocação de um observador imaginário paralelamente ao fio condutor, com a cabeça no sentido da corrente elétrica e o olhar posto no fio condutor. Para este observador as linhas do campo magnético orientam-se sempre da sua direita para a sua esquerda.

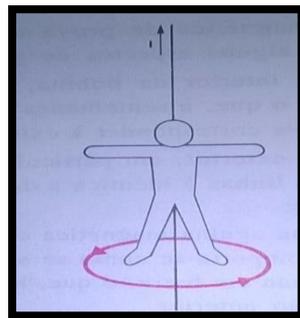


Figura 119: Regra do observador de Ampère.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

Na terceira regra, do saca-rolhas de Maxwell (fig.120), um saca-rolhas é colocado ao longo de um fio condutor e roda no sentido das linhas de campo de modo que se desloque no sentido da corrente elétrica.

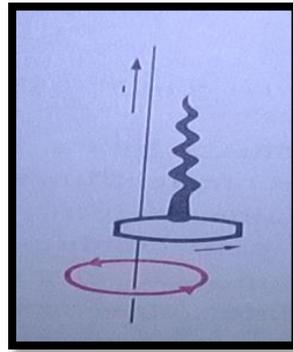


Figura 120: Regra do saca-rolhas de Maxwell.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

No que toca à experiência de Faraday, para conhecermos o sentido da corrente induzida numa bobina e o do campo magnético induzido pela corrente induzida é necessário, em primeiro, ter presente a lei de Lenz (enunciada em 1834, três anos depois da lei de Faraday, pelo físico russo, Heinrich Lenz): o sentido da corrente induzida é tal que, pelos seus efeitos eletromagnéticos, se oporá à transformação que a originou. Ou, dito de outro modo, uma corrente elétrica induzida numa espira condutora fechada tem um sentido tal que se oporá à variação do fluxo magnético que a produziu (fig.121 e 122). Esta lei, como Helmholtz observou em 1851, é uma consequência da lei da conservação da energia. Só pela indução de uma corrente elétrica na espira se garante que a energia cinética do íman não aumente, aumentando também a energia interna da espira. Assim, ao aproximarmos o íman realizamos um trabalho para vencer a repulsão e, ao mesmo tempo, há um aumento na mesma proporção da energia interna do sistema.

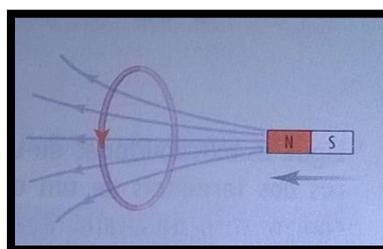


Figura 121: Ao aproximarmos o íman, o fluxo magnético através da espira aumenta e cria uma corrente induzida na espira.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

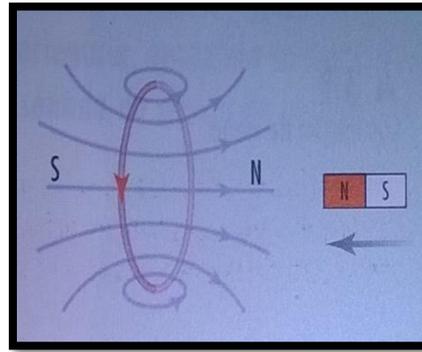


Figura 122: A corrente elétrica induzida na espira cria um campo magnético cujos efeitos se opõem ao movimento do ímã. O pólo que surge na face da espira diante do pólo norte do ímã é o pólo norte, de modo que se repelem.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

Depois de entendermos a lei de Lenz, usamos uma das três regras enunciadas atrás para determinar o sentido da corrente elétrica induzida. Se usarmos a regra do saca-rolhas de Maxwell e se o fluxo magnético que atravessa a espira aumentar, a corrente induzida terá o sentido da rotação de um saca-rolhas, que se deslocará no sentido contrário às linhas de indução, quando colocado paralelamente a estas (fig.123 I). Se o fluxo magnético que atravessa a espira diminuir, a corrente induzida terá o sentido de rotação de um saca-rolhas, que se deslocará no sentido das linhas de campo, quando colocado paralelamente a estas últimas (fig.123 II).

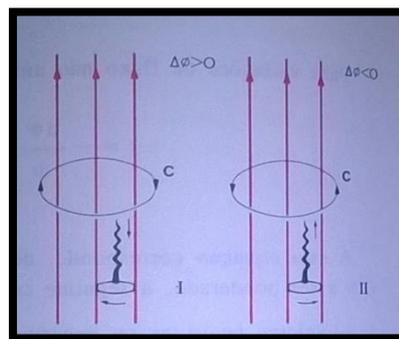


Figura 123: Regra do saca-rolhas de Maxwell para determinar o sentido da corrente elétrica induzida, numa espira C. I) para um aumento de fluxo magnético. II) para uma diminuição de fluxo magnético.

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

Os estudantes têm também dificuldade em definir a direção da força magnética que atua num fio percorrido por uma corrente elétrica num campo magnético (Mauk, H. V. & Hingley, D,

2005). O sentido de uma força magnética, \vec{F}_m , pode ser determinado com recurso à regra da mão direita, que está relacionada com um produto vetorial (Kustusch, M. B., 2016): com a palma da mão voltada para cima, o polegar representa o sentido do elemento de corrente $I \vec{\Delta l}$, os restantes dedos juntos o sentido do campo magnético \vec{B} , e a força magnética a apontar para fora da palma da mão (fig.124 a e b).

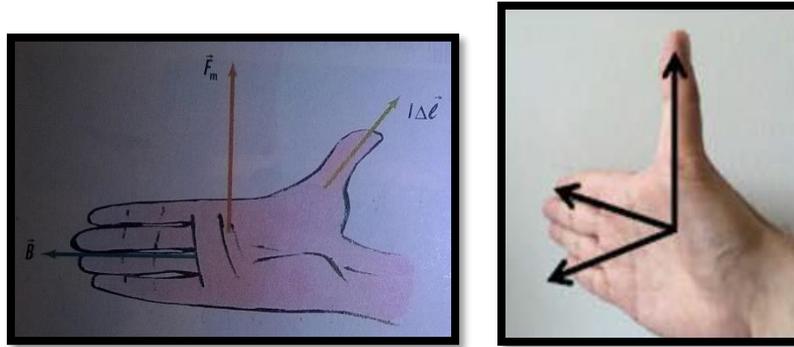


Figura 124 (a) e (b): Regra da mão direita para determinar o sentido da força magnética.

Fonte: ((a) Sá, Maria de, 1999, e (b) Özdemir, Erdoğan & Mustafa Coramik, 2018)

No entanto, o uso da regra da mão direita, pelos estudantes, nem sempre é fácil (Özdemir, Erdoğan & Mustafa Coramik, 2018), exigindo uma habilidade tridimensional e cinestética (Kustusch, M. B., 2016).

12. A Ciência Hermética

Por intermédio da ciência, sentimo-nos profundamente em contacto, em harmonia com a natureza e com os seus segredos.

Antoine, em *Os Thibault*

(Gard, Roger Martin du, 2001)

A Idade Antiga prolongou-se desde o 4º milénio a.C. ao século V d.C. e dividiu-se em a Antiguidade Oriental e a Antiguidade Clássica. Pensa-se que o homem descobriu a técnica de fundir metais, através do calor, no 5º milénio a.C. Plausivelmente, a metalurgia nasceu no Próximo Oriente (Mesopotâmia e Anatólia), com o uso do cobre, iniciando-se, assim, a Idade dos Metais e o Calcolítico. No 4º milénio a.C., já na Idade Antiga, descobriu-se o bronze (liga resultante da fusão do cobre com o estanho), na Tailândia, e nasceu a Idade do Bronze. Na Ásia Menor, no 2º milénio a.C., surge, finalmente, a metalurgia do ferro e com ela a Idade do Ferro.

As origens da Química encontram-se na civilização egípcia. Thot, apelido de Hermes, é considerado o primeiro químico. *Ciência Hermética*, nome derivado de Hermes, era, na Antiguidade, um dos nomes atribuídos à Química, entre outros (Arte Sagrada, Ciência Divina, Arte de Toth (deus egípcio equivalente a Hermes) e Arte de Hermes), e é também o título que Rómulo de Carvalho escolheu para um livro de sua autoria (fig.125). O papiro X, encontrado em Tebas, cidade antiga do Egipto, é dos mais ancestrais, no que respeita à Ciência Hermética. Foi com base nele que nasceu o livro de Rómulo de Carvalho. Também conhecido por «*papiro de Leida*» por ser cedido aos Países Baixos, o papiro foi estudado por Berthelot em “*Introduction à l’étude de la Chimie des Anciens et du Moyen Âge*”, obra de 1889. Para este químico francês, terá sido escrito por um «operário de artigos metálicos».

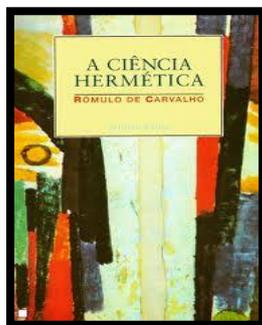


Figura 125: Capa do livro “*A Ciência Hermética*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1966)

Hoje, como antigamente, algumas transformações químicas deixam-nos espantados e perplexos, como se estivéssemos perante fenómenos inexplicáveis e misteriosos. Podemos ler às páginas tantas, em “*A Ciência Hermética*”, que:

Quando em tempos remotos, um sacerdote egípcio se afastava do convívio geral para, misteriosamente, estudar a transformação de certa substância, escondido num compartimento de Tebas, o espanto dos seus olhos pouco deveria diferir da atitude pasmada do estudante dos nossos dias quando, na sua escola, vê, pela primeira vez, o professor realizar um fenómeno químico, ali, na sua frente. Que extraordinário espetáculo é, para o principiante, a simples coloração vermelha que a gota incolor dum líquido ácido concede ao azul de tornesol (Carvalho, Rómulo de, 1966).

12.1 Oxidação da prata e verdetes

Grande parte das operações químicas efetuadas pelos egípcios estavam relacionadas com a metalurgia, envolvendo, sobretudo, o ouro, a prata, o cobre, o estanho, o chumbo e o zinco. Em vários objetos, analisados por químicos modernos, identificaram-se ligas metálicas como o latão e o bronze. Em “*A Ciência Hermética*” podemos ler:

Assim, por exemplo, conheceram os antigos a calamina, silicato natural de zinco que, por calcinação, se reduz a óxido. O uso desta matéria, quando aliada ao cobre, dava, consoante as proporções, variadíssimas ligas de cobre e de zinco que hoje denominamos latão. Isto não obriga, porém, como disse, ao conhecimento direto do zinco. Do mesmo modo que nos legaram os antigos amostras da produção do bronze, obtido analogamente a partir de misturas de cobre e de minérios de estanho que eram muito abundantes em alguns pontos do litoral mediterrânico (Carvalho, Rómulo de, 1966).

No 7.º ano de escolaridade – para que o aluno caracterize uma mistura pela combinação das substâncias constituintes e pelo aspeto macroscópico uniforme (mistura homogénea) ou não uniforme (mistura heterogénea) que pode apresentar, associe uma solução à mistura homogénea de duas ou mais substâncias, em que uma se designa por solvente (fase dispersante) e a(s) outra(s) por soluto(s) (fase dispersa), e interprete o solvente como a fase dispersante que tem como características apresentar o mesmo estado físico da solução ou ser o componente presente

em maior quantidade química, – podemos apresentar como exemplo as ligas metálicas de latão e bronze, contextualizando-as nos trabalhos dos egípcios. O latão, por exemplo, é uma mistura homogênea, constituída por duas substâncias, cobre e zinco. Porque elas constituem uma só fase, estamos em presença de uma solução. Quer o cobre quer o zinco apresentam o mesmo estado físico da solução (o sólido), pelo que o solvente é o que estará em maior quantidade química.

Já dissemos que algumas das substâncias, trabalhadas pelos egípcios, foram a prata, o chumbo e o cobre. No papiro X, lemos sobre a prata:

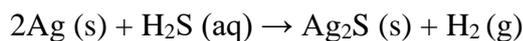
Aquecei a prata e fundi-a como se faz com o ouro. Se ficar branca e brilhante é pura e não falsificada; se parecer negra contém chumbo; se parecer dura e amarela é porque contém cobre (Carvalho, Rómulo de, 1966).

Aqui é importante considerar, nota Rómulo de Carvalho, que a prata escurece quando exposta à luz do dia e que tende a formar sulfureto de prata negro, por exemplo nos talheres de prata, em presença do ácido sulfídrico que a atmosfera contém:

É sabido que os objetos de prata escurecem pela sua exposição ao ar. A prata não participa, em tão alto grau, dessa esplêndida inalterabilidade do ouro que o torna particularmente belo. As salvas de prata que se expõem nalgumas salas de jantar (para dar um exemplo caseiro), precisam de ser limpas, de tempos a tempos, com matérias apropriadas que lhes concedam o brilho perdido. É até costume errado dizer que esses objetos se oxidaram, à semelhança do que se diz do ferro que, na realidade, se oxida facilmente. A prata, não. Essa sujidade que a cobre, e que as donas de casa limpam frequentes vezes, é o sulfureto de prata, negro, formado à custa do ácido sulfídrico que a atmosfera contém (Carvalho, Rómulo de, 1966).

A explicação para o escurecimento da prata, apresentada no papiro, é, então, incorreta.

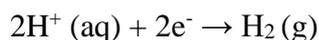
No tempo de Lavoisier, o termo oxidação foi limitado a reação com o oxigénio e o termo redução a remoção de oxigénio. Depois da descoberta do eletrão, em 1897, e da implementação do modelo de Bohr, em 1913, as reações químicas passaram a ser interpretadas em termos da atividade dos eletrões. Nas reações de oxidação-redução, a oxidação, no sentido mais geral do termo, significa uma perda de eletrões e a redução, um ganho de eletrões. A equação da reação da prata com o ácido sulfídrico é a seguinte:



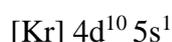
Como a prata é oxidada e os iões de hidrogénio são reduzidos, a equação da semirreação de oxidação é dada por:



e a de redução:



Esta reação de oxidação-redução acontece, apesar de a prata não se oxidar com facilidade. A prata é um metal de transição e tem a seguinte configuração eletrónica:



O estado de oxidação principal da prata é: +1. Também se pode encontrar no estado de oxidação +2 e +3.

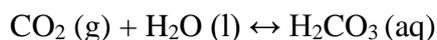
Já para a decapagem (limpeza) das superfícies de cobre (e de prata), sugerem-nos, no papiro X:

Fazei cozer acelgas e decapai cuidadosamente com o suco os objetos de cobre e de prata. Fazei ferver as acelgas na água (Carvalho, Rómulo de, 1966).

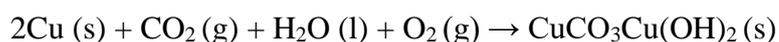
O cobre reage com a humidade do ar e com o anidrido carbónico (as chuvas ácidas) e origina carbonato de cobre hidratado, como nos explica Rómulo de Carvalho:

É sabido que a superfície dos objetos de cobre se altera facilmente quando exposta ao ar húmido. A humidade e o anidrido carbónico transformam o cobre numa substância verde, altamente venenosa, a que é costume chamar-se verdete ou azebre ou, ainda, como lhe chama o nosso ilustre Ferreira da Silva (Tratado de Química Elemental), azinhavre. Trata-se dum carbonato de cobre hidratado. A formação deste composto, e outras possíveis alterações da camada superficial, exigem a decapagem. Na receita, esse fim é conseguido por meio de água açucarada. A acelga, usada entre nós como alimento, é uma planta de sabor doce devido à grande quantidade de açúcar que contém. As beterrabas, donde se extrai o açúcar vulgar, são variedades de acelga. Estas, fervidas em água, largam a substância doce que, dissolvida, constitui o suco a que a receita se refere. É, pois, a água açucarada que faz a decapagem do metal (Carvalho, Rómulo de, 1966).

O dióxido de carbono atmosférico dissolve-se em água com formação de ácido carbónico:



Ao reagir com a água, o dióxido de carbono e o oxigénio, o cobre origina o azinhavre ou hidroxicarbonato de cobre (II). Nesta reação, o átomo de cobre é oxidado e o oxigénio da molécula de oxigénio é reduzido.

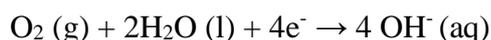


Número de oxidação: 0 +4-2 +1-2 0 +2+4-2 +2 -2+1

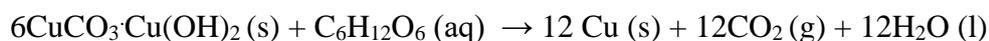
A equação da semirreação de oxidação é a seguinte:



E a equação da semirreação de redução:



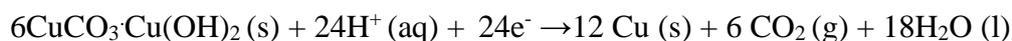
Por fim, o açúcar da acelga, dissolvido em água, é responsável pela decapagem do cobre:



+2 +4 -2 +2 -2 +1 0 +1 -2 0 +4 -2 +1-2

Nesta reação o ião de cobre (II) é reduzido e o carbono, presente na glicose, é oxidado.

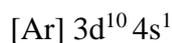
A equação da semirreação de redução é a seguinte:



e da semirreação de oxidação:



O cobre, tal qual a prata, é um metal de transição e tem a seguinte configuração eletrónica:

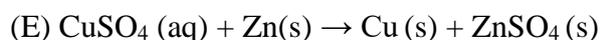
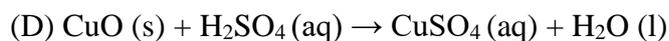
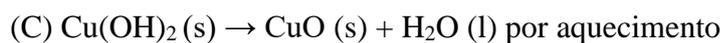
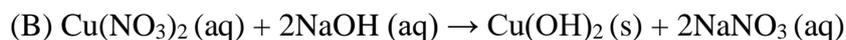
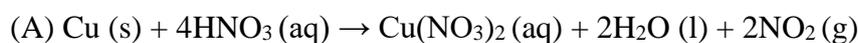


O estado de oxidação principal do cobre é: +2. Também pode se encontrar no estado de oxidação +1.

Em sala de aula, podemos usar este exemplo, no 12º ano de Química, para que os alunos relacionem a corrosão dos metais com um processo de deterioração por via eletroquímica: formação de óxidos, hidróxidos e sulfuretos (ferrugem, verdetes e “patine”).

12.2 Reciclagem do Cobre

O cobre obtido, anteriormente, pode ser reciclado. Para o reciclar (atividade prático-laboratorial proposta para o 12ºAno), por meio de processos químicos, podemos seguir a metodologia da **Caixa VI** e as seguintes reações:



Caixa VI**Reciclagem do cobre****Material e Reagentes:**

- H_2SO_4 6 moldm⁻³
- HCl 6 moldm⁻³
- NaOH 3 moldm⁻³
- HNO_3 16 moldm⁻³
- Zinco (em pó)
- Cobre (em fio)
- Acetona
- Placa de aquecimento
- Copo de 250cm³
- Espátula
- Vidro de relógio
- Vareta de vidro

Precauções:

- O ácido nítrico e o ácido sulfúrico são bastante corrosivos. Usar luvas, óculos de segurança e trabalhar na *hotte*.
- O ácido clorídrico e o hidróxido de sódio são corrosivos.

Caixa VI (continuação)

Procedimento:

- 1- Corta um fio de cobre, para se obter uma amostra de 0,3g.
- 2- Mergulha o fio numa solução de um ácido, passa-o por álcool e seca-o com um papel.
- 3- Pesa-o, numa balança, até ao centígrama, e regista o valor da pesagem.
- 4- Coloca-o no fundo de um copo de 250cm³.

Para a reação A

- 5- Adiciona 4,0 cm³ de HNO₃ concentrado (16 moldm⁻³) ao copo e agita-o suavemente até à dissolução completa. Observa e regista as alterações. Adiciona cerca de 100cm³ de água.

Para a reação B

- 6- Adiciona, agitando sempre com uma vareta de vidro, 30cm³ de NaOH (3 moldm⁻³), para promover a precipitação de Cu(OH)₂. Regista todas as observações efetuadas.

Para a reação C

- 7- Aquece a solução quase até à ebulição, agitando sempre para uniformizar o aquecimento da solução.
- 8- Quando a reação estiver completa, retira o aquecimento e continua a agitar durante um ou dois minutos.
- 9- Deixa repousar o óxido de cobre e decanta o líquido cuidadosamente para não perder CuO. Adiciona cerca de 200cm³ de água destilada e decanta uma vez mais.

Para a reação D

- 10- Adiciona, agitando sempre, 15cm³ de H₂SO₄ (6 moldm⁻³). Regista as alterações observadas.

Para a reação E

- 11- Na *hotte*, adiciona, de uma só vez, 1,3 g de zinco em pó, agitando até que o líquido sobrenadante fique incolor. Regista as observações verificadas.
- 12- Quando a libertação do gás hidrogénio for intensa, decanta o líquido sobrenadante e despeja no recipiente apropriado (recolha de resíduos).
- 13- Se ainda houver zinco por reagir, adiciona 10cm³ de HCl (6 moldm⁻³) e aquece ligeiramente a solução.
- 14- Quando não se libertar gás, decanta o líquido. Lava com cerca de 10cm³ de água destilada, deixa repousar e decanta o líquido. Repete este procedimento mais duas vezes, pelo menos.
- 15- Transfere, com uma espátula, o cobre para um vidro de relógio. Lava-o com acetona e seca-o na estufa.
- 16- Transfere o cobre seco para um copo previamente pesado e pesa-o até ao centígrama. Calcula a massa de cobre obtido.

A reação (A) é uma reação de oxidação-redução:



O dióxido de azoto (NO₂) é um gás tóxico. Se este ciclo se iniciar à macroescala, a quantidade química deste gás libertada será enorme. Deste modo, podemos usar apenas 100 mg de cobre metálico dissolvido em solução diluída de ácido azótico ou nítrico, num Erlenmeyer de 10 mL (Cardoso, A. Correia, 2004). Aquecendo ligeiramente o Erlenmeyer, a reação prosseguirá até à eliminação total do dióxido de azoto, que poderá ser dissolvido num meio aquoso em vez de se libertar para a atmosfera. À microescala, para se reciclar o cobre, podemos, assim, reduzir significativamente as quantidades químicas usadas e, conseqüentemente, melhorar a qualidade do ambiente e estarmos menos exposto a substâncias tóxicas.

As reações de oxidação-redução são classificadas de acordo com o aumento ou diminuição da carga dos átomos dos elementos, não obstante os casos de substâncias não iónicas em que tal definição encontra dificuldades (Cardoso, A. Correia, 2004)). Nesta reação química, forma-se uma solução aquosa de nitrato de cobre (II). O elemento cobre aumentou de carga (carga zero em Cu para carga positiva em Cu²⁺): foi oxidado. A transformação de Cu em Cu²⁺ envolve a perda de dois eletrões por cada átomo de cobre. Dizemos, então, que Cu e Cu²⁺ têm diferentes números de oxidação, e que a variação dos números de oxidação é igual ao número de eletrões intervenientes na reação, por cada átomo de Cu. Para atribuirmos números de oxidação ao elemento cobre em Cu e Cu²⁺, convencionou-se que o número de oxidação do átomo Cu, na substância elementar, é zero. Para o número de oxidação do cobre em Cu²⁺, consideramos o sinal positivo, pois a espécie Cu²⁺ tem carga positiva, e atribuimos-lhe o número de oxidação +2. Por regra, para todos os iões monoatômicos, os números de oxidação coincidem com as cargas (Cardoso, A. Correia, 2004).

A oxidação é, então, um processo que envolve a perda de um ou mais eletrões por um átomo ou um grupo de átomos.

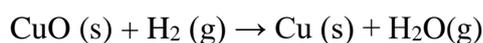
[Aqui, esclarecemos o conceito de oxidação. Como podemos ler no “*Compêndio De Química Para O 3.º Ciclo*” (fig.126), de Rómulo de Carvalho, não se deve reservar a palavra oxidação para «expressar a fixação de oxigénio» ou uma perda de hidrogénio; nem a palavra redução para expressar uma perda de oxigénio ou um ganho de hidrogénio (Carvalho, Rómulo de, 1950).



Figura 126: Capa do livro “*Compêndio De Química*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1950)

Por exemplo, na reação entre o óxido cúprico e o hidrogénio, o óxido cúprico perde o oxigénio e é reduzido a cobre, enquanto, em simultâneo, o hidrogénio gasoso ganha o oxigénio e é oxidado a água.



No entanto, a maioria das reações de oxidação-redução não envolvem o oxigénio nem o hidrogénio.]

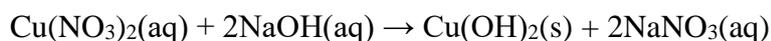
Qual o elemento que foi reduzido? No ião NO_3^- , o número de oxidação do elemento azoto é +5, enquanto que, na molécula de NO_2 , o número de oxidação é +4 (porque o oxigénio é mais eletronegativo do que o azoto, o seu número de oxidação é -2). Como o elemento azoto diminuiu de carga, diz-se que foi reduzido. A redução é, então, um processo que envolve o ganho de um ou mais eletrões por um átomo ou um grupo de átomos. Já o estado de oxidação (número de oxidação) pode ser definido como o número de eletrões que é necessário adicionar a um ião positivo para se obter um átomo neutro ou o número de eletrões que é necessário remover a um ião negativo para se obter um átomo neutro (Cardoso, A. Correia, 2004).

Para a determinação do número de oxidação de um elemento num composto, devemos seguir as regras seguintes (Calzaferri, Gion, 1999):

1. O número de oxidação dos átomos de uma substância elementar na sua forma mais estável é zero.
2. Em iões poliatómicos, a soma algébrica dos números de oxidação dos diferentes átomos é igual à carga do ião e, em moléculas neutras, é zero.

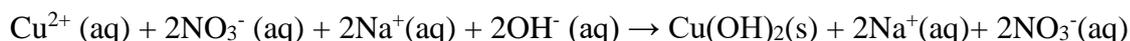
3. O número de oxidação dos átomos de hidrogénio, quando estão ligados a átomos de elementos mais eletronegativos, é +1 (+1 em combinação com não metais e -1 em combinação com metais, isto é, nos hidretos).
4. O número de oxidação dos átomos de oxigénio, nos compostos em que os átomos de oxigénio se encontram ligados a átomos de elementos menos eletronegativos, é -2, exceto com o fluor; -1 em peróxidos (O_2^{2-}); -1/2 em superóxidos (O_2^-); -1/3 em ozónidos (O_3^-).
5. O número de oxidação dos átomos de fluor é de -1 em todos os compostos.
6. O número de oxidação dos átomos de cloro, bromo e iodo, é de -1 (exceto quando combinados com oxigénio).
7. Para elementos do grupo I, o número de oxidação é +1; para elementos do grupo II, o número de oxidação é +2; para elementos do grupo III (exceto o boro), o número de oxidação é +3, para M^{3+} , e +1, para M^{+1} ; para elementos do grupo IV (exceto o carbono e o silício), o número de oxidação é +4, para M^{4+} , e +2, para M^{2+} .

A reação (B) do processo de reciclagem do cobre:

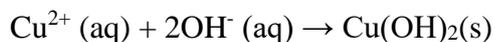


Estamos perante uma reação de precipitação, com formação de um precipitado de $Cu(OH)_2$ e de uma solução aquosa de iões de Na^+ e NO_3^- . Duas soluções de dois eletrólitos fortes reagem para formar um sal insolúvel em água, o hidróxido de cobre (II).

Considerando equação da reação em termos de iões presentes em solução:



Escrevemos a equação da reação iónica resultante, como:

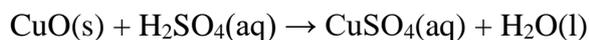


A reação (C) corresponde a uma reação de desidratação:

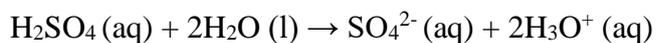
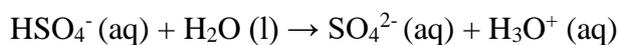
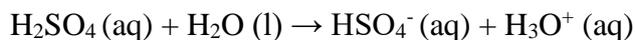
calor



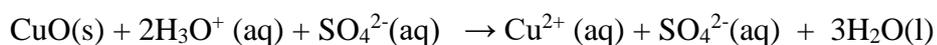
A reação (D) é uma reação de dissolução de um sal por um ácido forte:



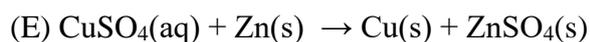
O ácido sulfúrico é um eletrólito forte, em solução aquosa encontra-se completamente dissociado de acordo com as reações:



Ácidos que são eletrólitos fortes designam-se por ácidos fortes. Como, por cada molécula, se pode transferir dois prótons para água, o ácido sulfúrico é um ácido diprótico. O óxido de cobre (II) é dissolvido em ácido sulfúrico, segundo a reação:



Por fim, a reação (E) é uma reação de oxidação-redução, como a primeira:



13. Aplicações da Indução Eletromagnética

No livro “*Experience and education*”, de 1938, John Dewey avançou com a necessidade de o ensino-aprendizagem e os currículos estabelecerem pontes com o mundo real. Assim o aluno desenvolveria competências que o habilitariam a enfrentar esse mundo (Dewey, J., 1938).

Spiegel-Rosing & Price publicaram, em 1977, uma coletânea de artigos, denominados de *Science, Technology and Society*, que originaria, mais tarde, o movimento CTS (este acrónimo contempla as ligações recíprocas entre a Ciência, a Tecnologia e a Sociedade) (Spiegel-Rosing & Price, 1977). O movimento CTS pretendia que a aprendizagem da ciência se situasse num contexto social, em detrimento das suas raízes académicas, e que preparasse a sociedade para lidar com os avanços da ciência e da tecnologia. Nos anos 80 houve mesmo a preocupação de incluir nos currículos os efeitos dos avanços científico-tecnológicos ao nível social. Estudos científicos, realizados nos Estados Unidos da América na década de oitenta, mostraram que havia alunos que terminavam com sucesso o ensino secundário e que possuíam muitas concepções erradas acerca do mundo, estando impreparados para ele (Champagne, A. B. & Kopfler, L. E., 1984). Nesse momento, os profissionais da educação deparavam-se com o problema de como incluir as relações entre ciência, tecnologia e sociedade nos currículos. Uma das várias abordagens que surgiram, entretanto, foi a abordagem histórica, onde se apresentava a evolução da ciência e da tecnologia interligada à sociedade, sobretudo no domínio das implicações e benefícios sociais. O ensino “CTS” começou, então, a ocupar, homeopaticamente, o espaço do ensino tradicional, centrado excessivamente no professor e nos manuais escolares, e os seus efeitos nos alunos foram animadores. Os alunos evidenciavam uma melhor compreensão dos fenómenos, que envolviam a ciência e a tecnologia, a sua atitude perante a ciência recrudescia e havia alguns progressos nas capacidades de pensar e de criar (Aikenhead, G., 1994); todavia, alguns investigadores mostraram-se cétricos, sobretudo no que tocava às mudanças conceptuais, ao nível cognitivo, necessárias para o aluno ancorar novos conhecimentos e que estavam, eventualmente, a ser sacrificadas. Em sala de aula, ora se introduzia primeiro as aplicações científicas e tecnológicas e depois se progredia para os conceitos ou se fazia precisamente o inverso, enfatizava-se os conceitos e, a partir daí, apresentava-se as aplicações relacionadas com esses conceitos.

Na área do eletromagnetismo, o professor pode, deste modo, ora abordar primeiro o conceito de indução eletromagnética e depois as suas aplicações, ora começar pelas aplicações para

depois apresentar os conceitos científicos que lhes estão subjacentes. As aplicações da indução eletromagnética são muitas e têm aumentado e sido aperfeiçoadas ao longo dos tempos.

Heinrich Hertz, físico alemão auxiliar de Helmholtz, descobriu, em 1887, um modo de produzir artificialmente ondas de rádio (radiações eletromagnéticas). Estas resultavam das descargas elétricas entre duas esferas metálicas, separadas pelo ar e ligadas a uma bobina de indução (a um transformador em que o circuito primário é alternadamente fechado e interrompido) e a duas esferas metálicas maiores que funcionavam como condensador (fig.127, a e b). Assim, uma corrente elétrica variável era induzida no circuito, carregava-se o condensador que, depois, se descarregava através do ar entre as duas esferas pequenas. O sentido de cada descarga (das múltiplas faíscas) dependia de se ligar ou desligar o circuito primário. Ao colocar duas esferas metálicas, ligadas por fios metálicos, a alguma distância das duas esferas metálicas, Hertz descobriu, também, que ocorriam descargas elétricas nas esferas. Com esta experiência, Hertz confirmou a previsão de James Clerk Maxwell:

Para gerar uma onda eletromagnética é necessário criar um campo elétrico variável. O próprio campo elétrico variável gera nas suas vizinhanças um campo magnético variável. Este, por sua vez, gera, nas vizinhanças, um campo elétrico variável e assim por diante (Bello, Adelaide & Helena Caldeira, 2004).

Hoje, as ondas de rádio são usadas nas transmissões de rádio e televisão, nos telefones e nos telemóveis.

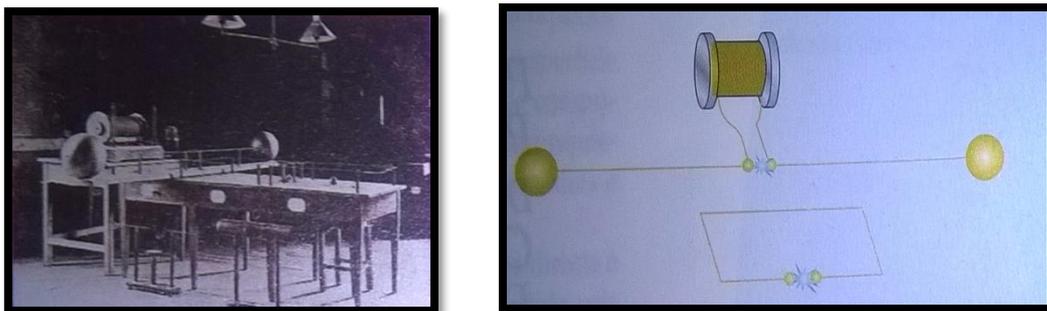


Figura 127 (a) e (b): (a) Experiência de Hertz. (b) Esquema da experiência de Hertz.

(Fonte: (a) Rodrigues, M. Margarida & Fernando Morão Lopes Dias, 2004, e (b) Sá, Maria de, 1999)

Em “*Magnetismo e Eletromagnetismo*”, Rómulo de Carvalho faz referência aos geradores de indução de corrente contínua ou dínamos (fig.128). Nestes geradores de indução, em vez de um íman, num movimento de vaivém de translação, as correntes de indução são obtidas

provocando, numa espira em circuito fechado, um movimento de rotação. Nas barragens hidroelétricas a queda de água é quem faz rodar a espira colocada entre os pólos de um magnete que cria um campo magnético sensivelmente uniforme. Assim, são geradas forças eletromotrizes induzidas nos condutores retilíneos que constituem as espiras.

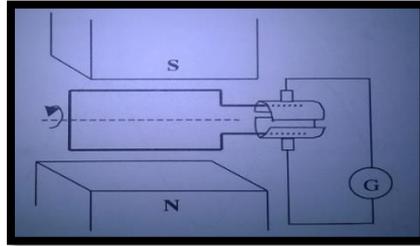


Figura 128: Produção de correntes contínuas devido ao uso de um comutador.

(Fonte: Almeida, Maria José B. Marques de, 2004)

Durante a rotação da espira, o fluxo magnético através da superfície da mesma varia. Se a espira rodar com uma velocidade angular constante, origina-se nela uma corrente alternada. O uso de um comutador permitirá, todavia, a obtenção de uma corrente com intensidade praticamente constante, isto é, uma corrente contínua.

Em o livro “*Física, para o 12.º Ano de Escolaridade/Via de Ensino*”, são referidas mais três aplicações da indução eletromagnética: os fornos de indução, os travões eletromagnéticos e os galvanómetros (Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982). As correntes de Foucault são correntes elétricas induzidas em massas metálicas (ferro, alumínio, cobre...) que fazem, geralmente, parte de um circuito fechado. Se tivermos uma massa metálica M submetida a um fluxo magnético variável de indução B , aparecerão nela várias correntes induzidas que se explicam através da lei de Faraday e da lei de Lenz (fig.129). O sentido das correntes induzidas é tal que tende a opor-se à causa que as originou (Martins, José Vagos Carreira, 1995).

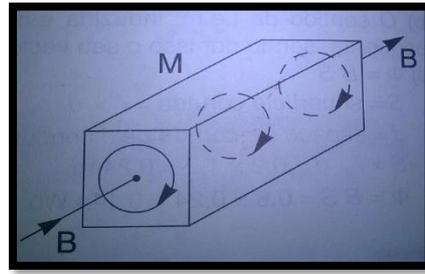


Figura 129: A massa metálica M, atravessada por um fluxo magnético variável B, origina as correntes de Foucault.

(Fonte: Martins, José Vagos Carreira, 1995)

As correntes de Foucault acarretam consigo alguns inconvenientes, como a perda de calor por efeito de Joule. Este aquecimento é desejável nos fogões com placa para aquecimento de tachos metálicos (fig.130).

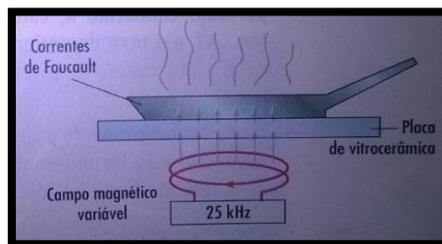


Figura 130: Aquecimento por indução eletromagnética.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

Em outras situações, como em motores e transformadores, que contêm ferro, o aquecimento é indesejável. Um processo de redução das correntes de Foucault é a laminação das massas metálicas. A laminação dos materiais metálicos (fig.131) permite uma maior resistência à passagem das correntes induzidas, sendo o módulo das forças eletromotrizes induzidas menor (Martins, José Vagos Carreira, 1995).

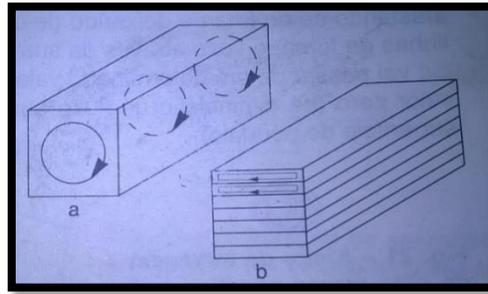


Figura 131: Correntes de Foucault. a) em núcleo maciço; b) em núcleo laminado.

(Fonte: Martins, José Vagos Carreira, 1995)

As correntes de Foucault podem apresentar também aplicações de enorme utilidade. Algumas já foram referidas anteriormente, como o freio de massas metálicas (travões de camiões e amortecimento de massas metálicas móveis ligadas aos ponteiros dos amperímetros, voltímetros e galvanómetros). A estas acrescentamos a regulação da velocidade do disco de um contador de energia e a fusão de metais por indução eletromagnética. Estas aplicações envolvem o uso dos efeitos magnéticos das correntes de Foucault, que se explicam pela lei de Lenz.

No efeito de travagem de massas metálicas em movimento, é usado um pêndulo metálico que oscila cortando as linhas de força de um campo magnético (fig.132). No momento 1, os efeitos das correntes induzidas contrariam a aproximação do pêndulo ao íman. No momento 2, contrariam o afastamento do pêndulo relativamente ao íman. Na figura 133, representam-se na aproximação e no afastamento, o sentido das forças magnéticas, do campo magnético e das correntes elétricas.

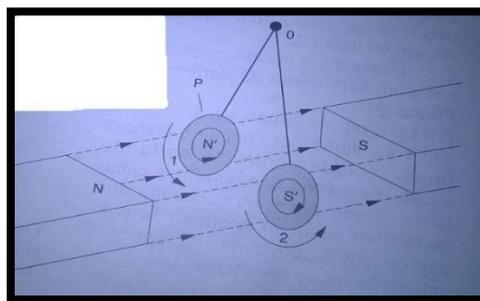


Figura 132: Travagem de um disco metálico por interação entre um campo magnético e as correntes de Foucault induzidas no disco.

(Fonte: Martins, José Vagos Carreira, 1995)

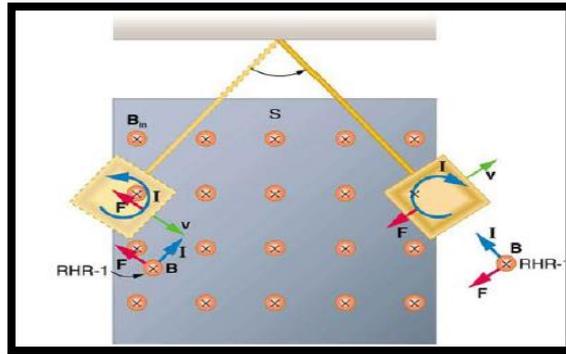


Figura 133: Placa metálica a oscilar num campo magnético.

Fonte: <http://cnx.org/content/col11406/1.7>

As correntes de redemoinhos também se aplicam na separação de metais do refugo, através de um magnete forte (fig.134).

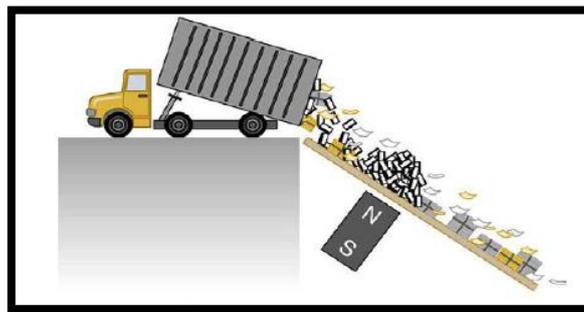


Figura 134: Separação de metais condutores.

Fonte: <http://cnx.org/content/col11406/1.7>

Nos discos de contadores de energia, a regulação da velocidade angular, de modo a que se torne constante, é feita através de um ímã que cria correntes de Foucault no disco de alumínio à medida que este vai rodando (fig.135). Aqui, note-se, o disco não se detém porque está sempre aplicada nele uma força magnética exterior.

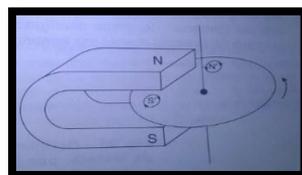


Figura 135: Regulação da velocidade angular do disco de um contador.

(Fonte: Martins, José Vagos Carreira, 1995)

Enrolando um fio condutor num prego de ferro macio e ligando-o a uma bateria, pode-se atrair clips ou desviar uma agulha magnética. Ao conjunto, bobina e prego, denomina-se de electroímã ou eletromagnete. Os primeiros foram construídos por W. Surgeon, em 1825 (Bello, Adelaide & Helena Caldeira, 2004). Em 1831, Joseph Henry, que trabalhava com eletromagnetes, assim como Gerritt Moll, construiu, como vimos atrás, um dispositivo, baseado em um eletromagnete e alimentado por uma bateria, que conseguia assomar mais de uma tonelada de ferro (Darrigol, Olivier (2000)). Quando se pousavam os materiais metálicos, a corrente elétrica era interrompida, o campo magnético eclipsava-se e eles caíam.

Os eletromagnetes também são usados na deteção de moedas falsas nas máquinas de pagamento automático. As moedas movem-se sujeitas a um campo magnético e nelas são induzidas correntes elétricas. A intensidade destas correntes induzidas poderá alterar a trajetória. Se as moedas forem falsas descreverão uma trajetória diferente das moedas verdadeiras e são rejeitadas (Bello, Adelaide & Helena Caldeira, 2004). Um sistema idêntico também é usado na deteção de metais nos aeroportos (fig.136).

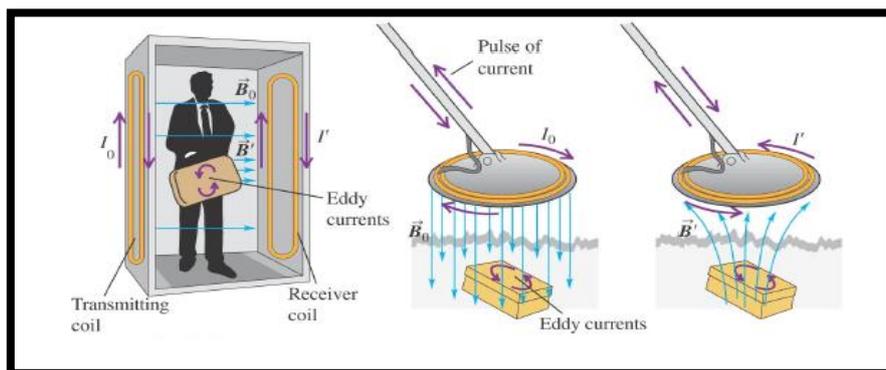


Figura 136: O detetor de metais, através da corrente elétrica I_0 , origina um campo magnético variável, \vec{B}_0 , que induz correntes elétricas num objeto condutor. Estas correntes induzidas criam um campo magnético, \vec{B} que, por sua vez, também cria correntes, I , no detetor metálico.

(Fonte: Liao, Sen-Bem & Peter Dourmashkin, & John Belcher, 2011)

Um outro exemplo de aplicação da indução eletromagnética é o transformador. Um transformador é um aparelho que transforma a força eletromotriz de entrada, reduzindo-a ou aumentando-a, com base na indução-mútua entre dois circuitos, o indutor ou primário e o induzido ou secundário. Estes circuitos contêm bobinas que se enrolam em torno de um núcleo de ferro (este núcleo de ferro, que é laminado para minimizar os efeitos das correntes de

Foucault, reorienta e intensifica o campo magnético). Quanto à força eletromotriz de saída ou induzida no circuito secundário depende da relação entre o número de espiras das bobinas. Se o número de espiras do circuito primário for maior do que o número de espiras do circuito secundário, o transformador diminui a força eletromotriz de entrada. Caso contrário, aumenta.

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_s} = \frac{N_p}{N_s}$$

Os transformadores são usados, por exemplo, no transporte de corrente elétrica entre as centrais e nos locais de consumo. Eles elevam a tensão à saída das centrais para a baixar nos locais de consumo. Como vimos anteriormente, Michael Faraday foi o primeiro cientista a inventar um transformador estático, apesar de ser constituído apenas por uma bobina. O circuito secundário não tinha nenhuma bobina, mas apenas um fio que passava pelo interior da bobina do circuito primário. A tensão alternada no circuito primário era devida, neste caso, a ligar e desligar-se um interruptor, o que provocava uma variação do fluxo magnético na bobina e, conseqüentemente, na área delimitada pelo fio e por parte da bobina. Deste modo, era induzida uma tensão no fio que passava pelo interior da bobina.

Uma aplicação mais recente da indução eletromagnética é o comboio de levitação magnética (fig.137). Estes comboios têm, geralmente, ímanes muito fortes no seu interior, enquanto os carris possuem anéis condutores (ou, então, eletroímãs supercondutores). A corrente induzida pela variação de fluxo magnético, à passagem do comboio, produz um campo magnético que se oporá à variação do campo magnético exterior. Como resultado, aparece no sistema uma força repulsiva que o faz levitar. Conseqüentemente, como não existe o efeito das irregularidades dos carris (as forças de atrito) o comboio pode atingir velocidades muito altas. Estes comboios têm um braço em forma de C, onde a extremidade superior está conectada ao comboio e a inferior está por debaixo dos carris; a extremidade inferior tem ímanes que induzem correntes elétricas no material ferromagnético dos carris. Depois, um sistema separado de eletroímãs, que se ligam e desligam de modo sincronizado, é responsável pela propulsão do comboio, isto é, por o deslocar na horizontal. Há, no entanto, comboios de suspensão eletromagnética que levitam graças ao uso de materiais supercondutores (substâncias que a baixas temperaturas não oferecem resistência elétrica) nos carris (Lewin, Walter & Warren Goldstein, 2016).



Figura 137: Comboio Maglev.

(Fonte: Bello, Adelaide & Helena Caldeira, 2004)

Os comboios Maglev foram introduzidos pelo Japão e pela Alemanha.

14. O Embalsamento Egípcio

Eu não pequei contra os homens. Não disse mentira. Não fiz chorar ninguém. Não matei. Não fiquei com o pão dos deuses. Não falseei o peso da balança. Não cacei as aves sagradas. Não desviei a água no tempo das cheias. Não prejudiquei os rebanhos do templo. Não desprezei deus no meu coração.

Sou puro, sou puro, sou puro!

Livro dos Mortos do Antigo Egipto

(Anónimo, 1996)

Na Antiguidade, o carbonato de sódio era denominado de *nitro*. O nome tem origem no verbo hebraico, *netar*, que significa «fazer efervescência». Quando se adiciona vinagre (ácido acético) ao nitro, produz-se uma efervescência com libertação de dióxido de carbono. Podemos ler em “*O Embalsamento Egípcio*” (fig.138):

a substância tratada pelo nome de nitro é a soda natural. Esta sim, que produz viva efervescência quando se lhe junta vinagre, pois neste líquido predomina o ácido acético, e os solutos dos ácidos ferverem com os carbonatos, devido à formação do gás carbónico (Carvalho, Rómulo de, 1948).



Figura 138: Capa do livro “*O Embalsamento Egípcio*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1948)

A equação química da reação é a seguinte:



De um modo geral, os carbonatos «fervem» pela ação dos ácidos, isto é, libertam, por decomposição, o anidrido carbónico. Depois do que foi dito, um aluno estaria, decerto, preparado para responder à seguinte questão:

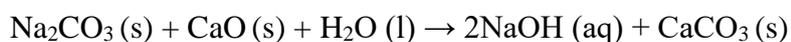
Questão: O carbonato de sódio (Na_2CO_3), o cloreto de amónio (NH_4Cl) e o nitrato de potássio (KNO_3) foram dissolvidos em água. A adição de ácido clorídrico (HCl) a esta solução ocasiona uma efervescência devida à formação de gás carbónico (CO_2). A qual das substâncias inicialmente dissolvidas se deve a formação de CO_2 ?

O carbonato de sódio anidro (Na_2CO_3) era usado pelos egípcios, no processo de mumificação, para provocar a perda de água de um corpo (a desidratação), evitando-se assim a decomposição do mesmo. Formava-se, neste processo químico, o carbonato de sódio hidratado ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$).

Nos escritos do filósofo romano Plínio, de acordo com Rómulo de Carvalho, também se faz referência ao cheiro forte que se liberta quando se mistura o *nitro* com a cal viva. Esse cheiro é devido à formação de hidróxido de sódio, a soda cáustica:

O fenómeno aprecia-se bem, triturando um pouco de carbonato de sódio num almofariz, juntando-lhe cal pulverizada e misturando intimamente. Ao fim de poucas horas o conjunto está transformado numa papa, húmida e de cheiro semelhante ao gesso quando se lhe junta água (Carvalho, Rómulo de, 1948).

A equação química da reação é a seguinte:

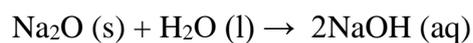
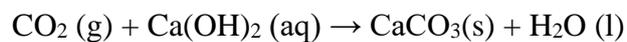


14.1 Decomposição térmica do carbonato de sódio

O carbonato de sódio anidro, quando aquecido, origina óxido de sódio e dióxido de carbono.



O dióxido de carbono libertado pode ser identificado pela turvação de água de cal e o óxido de sódio (solúvel em água) pela formação de hidróxido de sódio, ao se lhe juntar água destilada. Uma solução alcoólica de fenolftaleína adquire uma cor carmesim em solução básica de hidróxido de sódio.



A reação do aquecimento do carbonato de sódio pode se efetuar no 3.º Ciclo do ensino básico, 7.º Ano de escolaridade, quando se abordarem as transformações químicas. A metodologia a seguir está na **Caixa VII** de texto.

Caixa VII

Experiência: Decomposição, por ação do calor, do carbonato de sódio.

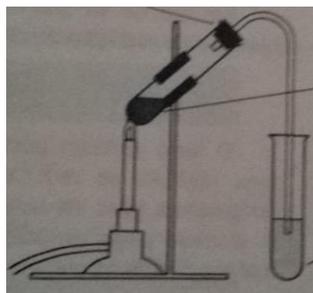


Fig.139: Montagem para a decomposição térmica do carbonato de cálcio.

(Fonte: Formosinho, Sebastião, Víctor Gil, J. J. C. Teixeira Dias, A. Correia Cardoso, 1987)

- a) Coloca um pouco de sal de carbonato de sódio num tubo de ensaio resistente à ação do calor.
- b) Prepara uma montagem idêntica à da figura 139.
- c) Aquece o tubo com uma lamparina.
- d) Observa o que acontece ao tubo que contém a água de cal.
- e) Deixa arrefecer o tubo de ensaio durante 10 minutos.
- f) Adiciona ao tubo arrefecido um pouco de água destilada.
- g) Adiciona ao tubo arrefecido algumas gotas de solução de fenolftaleína.

O óxido de sódio, obtido por decomposição térmica do carbonato de sódio, é, hoje em dia, usado na indústria do vidro, que, decerto, é tão puro como o morto que se confessa a Osíris na «pesagem da alma».

15. Poesia

Um bom químico é vinte vezes mais útil do que qualquer poeta.

Bázarov
(Turguéniev, Ivan, 2008)

Miguel Hernández, em “*El Rayo Que No Cesa*”, diz-nos que no seu coração o *metal más fresco se marchita* (Hernández, Miguel, 2010). Parece-nos que, no coração dos poetas, não há impossibilidades. António Gedeão, em “*Máquina de Fogo*” (incluído em as “*Poesias Completas*” (fig.140)), assemelha o seu coração a uma máquina de fogo (Gedeão, António, 1982). Não um fogo de uma cor qualquer e limitado, mas branco e intenso, como a luz do magnésio, e da dimensão de uma floresta queimada. Por meio da combustão, o coração parece suportar as agruras e encontrar algum alívio para o sofrimento. O mesmo coração que se inflama por coisa de somenos, como que por uma réstia de oxigénio, e onde tudo é combustível. Diremos nós que é um coração que não fica indiferente a nada e que é puro no amor e no ódio.

Meu coração é máquina de fogo,
Luz de magnésio, floresta incendiada.
Combustar-se é o seu próprio desafogo.
Arde por tudo, inflama-se por nada.

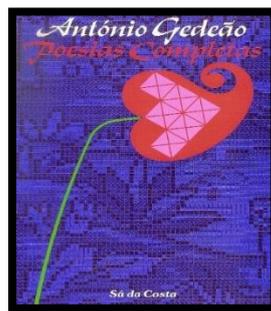


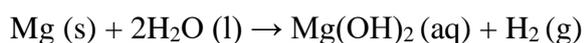
Figura 140: Capa do livro “*Poesias Completas*”.

(Fonte: Gedeão, António, 1982)

15.1 Propriedades Químicas do Cálcio e do Magnésio

No 9.º ano do 3.º Ciclo, para que o aluno distinga, através de propriedades químicas, os metais, podemos estudar os elementos do grupo dos metais alcalino terrosos da tabela periódica, nomeadamente o magnésio e o cálcio.

O magnésio à temperatura ambiente apresenta-se no estado sólido, a sua superfície possui um brilho metálico e é um bom condutor de corrente elétrica. Para estudarmos a sua condutibilidade elétrica podemos usar um circuito em série, com uma pilha e uma lâmpada, conectados por fios de ligação. Quanto às propriedades químicas, o magnésio reage muito lentamente com a água fria com formação de hidróxido de magnésio e de pequenas bolhas de hidrogénio.



O carácter químico da solução obtida pode ser analisado com solução alcoólica de fenolftaleína.

O magnésio e o cálcio também reagem com o oxigénio, por combustão. Nesta atividade laboratorial, uma fita de magnésio reagiu, por combustão, violentamente com o oxigénio, formando-se uma chama branca e intensíssima (fig.141). Ao segurarmos a fita de magnésio com uma pinça, aproximando-a de uma extremidade da chama de um maçarico e tendo o cuidado de não olharmos diretamente para a combustão, formou-se o óxido de magnésio, uma cinza branca.

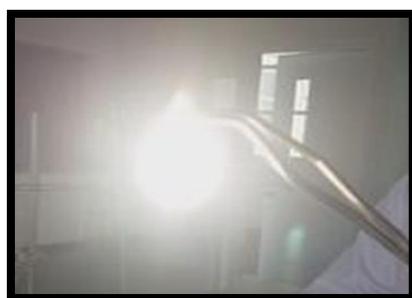
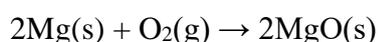


Figura 141: Combustão do magnésio.

(Fonte: Laboratório do departamento de Química da FCTUC.)

Depois, uma pedra de cálcio reagiu violentamente com o oxigénio, por combustão, formando-se uma chama avermelhada (fig.142). Ao segurarmos a pedra de cálcio com uma pinça, aproximando-a de uma extremidade da chama de um maçarico e tendo o cuidado de não olharmos diretamente para a combustão, formou-se o óxido de cálcio, uma cinza escura.

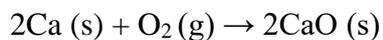


Figura 142: Combustão do magnésio.

(Fonte: Laboratório do departamento de Química da FCTUC.)

Os átomos dos elementos de cálcio e magnésio possuem dois eletrões de valência (ver tabela 2), isto é, dois eletrões no nível mais externo, e oito eletrões no penúltimo nível de energia. Apresentam, portanto, uma estrutura eletrónica semelhante, e, conseqüentemente, propriedades semelhantes. Assim, os átomos dos elementos de cálcio e magnésio, pertencentes ao grupo II da tabela periódica, têm tendência para ceder os dois eletrões de valência a outros átomos passando a iões dipositivos (com estrutura eletrónica estável):



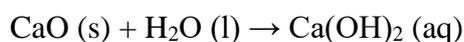
	Número atómico	Estrutura eletrónica
Magnésio	12	2,8,2
Cálcio	20	2,8,8,2
Oxigénio	16	2,6

Tabela 2: Elementos e número atómico e estrutura eletrónica respetivas.

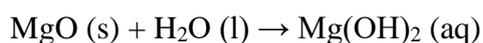
Os dois eletrões de valência do magnésio e do cálcio podem, então, ser cedidos aos átomos de oxigénio de cada molécula de oxigénio dissociada por ação do calor ($\text{O}_2 \rightarrow 2\text{O}$), formando-

se os sais de óxido de magnésio e de cálcio, respetivamente. Saliente-se que o magnésio é altamente inflamável, podendo a sua chama atingir temperaturas muito elevadas. O sal de óxido de magnésio é constituído por um ião Mg^{2+} e um ião O^{2-} , enquanto o sal de óxido de cálcio é constituído por um ião Ca^{2+} e um ião O^{2-} . Nestes sais, o catião e o anião encontram-se ligados por forças eletrostáticas e a ligação diz-se iónica. Podemos então concluir que os átomos dos elementos do grupo II da tabela periódica, os metais alcalinos terrosos, reagem com o oxigénio formando óxidos metálicos.

O óxido de cálcio e o óxido de magnésio podem ser identificados através da reação com a água, apesar de serem pouco solúveis nela. O óxido de cálcio ao reagir com a água origina o hidróxido de cálcio ou cal apagada:



e o óxido de magnésio o hidróxido de magnésio:



Os hidróxidos metálicos formados são, por fim, identificados por adição de uma solução alcoólica de fenolftaleína.

15.2 Cor de um Composto Orgânico

Em muitos artistas, sobretudo pintores, a cor está presente e impõe-se. Ocorrem-nos, de supetão, os quadros miríficos de Georgia O'Keeffe, mormente os de flores, e os pigmentos amarelos, usados por Van Gogh para pintar estrelas, que são de compostos químicos de iões monoatômicos (Cd^{2+} e S^{2-}) (Le Maréchal, Jean-François, 2010). Uma das flores que mais nos seduzem são as hortênsias, nas suas colorações azuis e rosa que dependem do caráter básico ou ácido do solo onde se encontram enraizadas.

A poesia de Rómulo de Carvalho é também indissociável da cor. Por exemplo, no “*Poema da auto-estrada*” podemos ler (Gedeão, António, 1982):

Voando vai para a praia
Leonor na estrada preta.
Vai na brasa, de lambreta.

Leva calções de pirata,
vermelho de alizarina,
modelando a coxa fina
de impaciente nervura.
Como guache lustroso,
amarelo de idantreno,
blusinha de terileno
desfraldada na cintura.

Fuge, fuge, Leonoreta.
Vai na brasa, de lambreta.

Agarrada ao companheiro
na volúpia da escapada
pincha no banco traseiro
em cada volta da estrada.
Grita de medo fingido,

que o receio não é com ela,
mas por amor e cautela
abraça-o pela cintura.
Vai ditosa, e bem segura.

Como um rasgão na paisagem
corta a lambreta afiada,
engole as bermas da estrada
e a rumorosa folhagem.
Urrando, estremece a terra,
bramir de rinoceronte,
enfia pelo horizonte
como um punhal que se enterra.

Tudo foge à sua volta,
o céu, as nuvens, as casas,
e com os bramidos que solta
lembra um demónio com asas.

Na confusão dos sentidos
já nem percebe, Leonor,
se o que lhe chega aos ouvidos
são ecos de amor perdidos
se os rugidos do motor.

Fuge, fuge, Leonoreta.

Vai na brasa, de lambreta.

A Leonoreta, com que nos deparamos, não vai para a fonte a pé. De lambreta, vai, abraçada à cintura do companheiro e endemoninhada, para a praia; não vai pela verdura, mas por uma estrada. Os seus calções de pirata são cor de vermelho de alizarina e a blusa cor de amarelo de indantreno, enquanto, na Leonor de Camões, a cinta é escarlate e o casaco branco. Ela é precisamente o antagonismo da Leonor: se Leonoreta simboliza a diversão e a adulteração, Leonor simboliza, pelo contrário, o labor e a pureza.

A alizarina (fig.143), presente nos calções de Leonoreta, é uma substância composta que é usada como corante vermelho. Originária da raiz de uma planta, ruiva-dos-tinteiros, foi sintetizada, em 1868, por Carl Graebe e Carl Liebermann, a partir do antraceno. Esta foi a primeira síntese de um pigmento natural. Os corantes são usados, em laboratório, como indicadores de pH. O vermelho de alizarina (fig.144) é um deles e a sua cor em solução é função do pH da mesma. Este corante, diluído em meio ácido, com pH=1,9, apresenta uma cor vermelho-alaranjada, absorvendo radiação na região do azul-esverdeado e do verde-azulado.

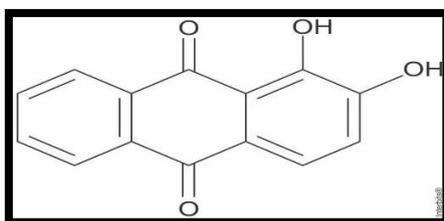


Figura 143: Estrutura química da alizarina.

(Fonte: <https://brainly.com.br/tarefa/23192107>)

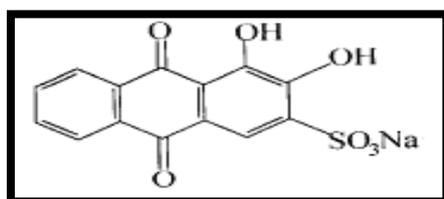


Figura 144: Estrutura química do vermelho de alizarina S.

(Fonte: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421999000300004)

Também, no poema “*Pulsção da treva*”, Rómulo de Carvalho faz referência aos azuis rosados do sol-pôr (Gedeão, António, 1982):

Fundiu-se a roda do Sol
entre os cedros afilados.
Desfez-se em azuis rosados,
tinturas de tornesol.

O tornesol é igualmente uma matéria corante usada como indicador químico (avermelha em meio ácido e azul em meio básico). Uma solução aquosa de azul de tornesol, com pH entre 4,5 e 8,3, apresenta uma cor azul rosado, roxa.

No 12.º Ano de escolaridade, podemos servirmo-nos de um indicador, como o alaranjado de metilo ou heliantina, para que os alunos associem a cor de uma solução aquosa diluída com a absorção de radiação em zonas específicas do espectro visível e com a estrutura química. O espectro de absorção é obtido por meio de um espectrofotómetro.

O alaranjado de metilo (fig.145), em solução com pH inferior a 3,1, apresenta-se-nos como vermelho, e, em solução com pH superior a 4,4, como amarelo. Na zona de viragem, entre 3,1 e 4,4 apresenta-se-nos alaranjado. Na forma de um sal de sódio, a fórmula química do alaranjado de metilo é a seguinte: $\text{NaC}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{O}_3\text{S}$.

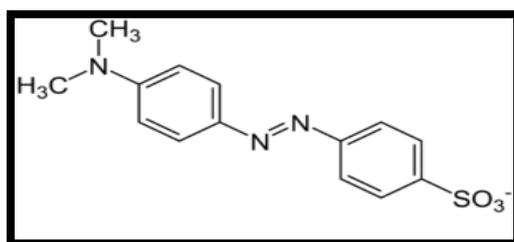


Figura 145: Estrutura molecular do alaranjado de metilo.

(Fonte: https://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Naranja_de_metilo.png)

O par ácido base correspondente é $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{O}_3\text{SOH}$ e $\text{C}_{14}\text{H}_{14}\text{N}_3\text{O}_3\text{SO}^-$ (fig.146).

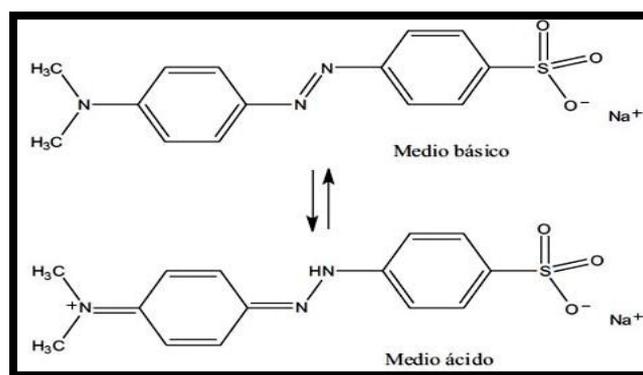


Figura 146: Estrutura do alaranjado de metilo em meio básico (amarelo) e em meio ácido (vermelho).

(Fonte: Güere, Carlos Gamarra & Adolfo La Rosa-Toro Gómez, 2014) /

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2014000100004

Nos espectros de absorção, na zona do visível e ultravioleta, as bandas de absorção são devidas à presença de grupos característicos de átomos nas moléculas, os denominados de cromóforos. Um cromóforo de relevo é a ligação dupla de carbono-carbono (C=C). A transição eletrônica, envolvida nesta absorção, corresponde à excitação de um eletrão de uma orbital ligante π para uma orbital antiligante π^* (a transição $\pi \rightarrow \pi^*$), e ocorre a cerca de 160 nm, na zona dos ultravioletas. A mesma transição ocorre na região do visível, para compostos com muitos níveis de energia possíveis, resultando numa pequena energia de separação entre orbitais ligantes e orbitais antiligantes. Moléculas com uma cadeia alternada de ligações simples e duplas, denominada de ligações duplas conjugadas, ou outras características equivalentes (como dupletos não ligantes vizinhos de ligações múltiplas) têm mais níveis de energia possíveis e absorvem na região do visível (Corrêa, Carlos & Basto, F. Pires, 1995).

A um pH qualquer, o alaranjado de metilo absorve quase integralmente na zona do visível. Por isso, apresenta-se corado. Quando uma solução de alaranjado de metilo é atravessada por uma luz branca, a cor transmitida depende da(s) cor(cores) absorvidas (Corrêa, Carlos & Basto, F. Pires, 1995). Usando um espectrofotómetro, podemos, variando o pH da solução, com solução de soda cáustica e de ácido clorídrico diluídas, estudar a variação da absorbância com o comprimento de onda e verificar que o máximo de absorção de uma solução aquosa de alaranjado de metilo varia conforme o pH do meio (conforme a predominância relativa das formas ácida e básica). Quando o alaranjado de metilo muda da cor amarela para a cor vermelha, há uma mudança no máximo de absorção, na zona do visível, para comprimentos de onda

maiores (fig.147). O espectro U.V-Visível depende, então, da estrutura química do composto que varia com o pH do meio (fig.147).

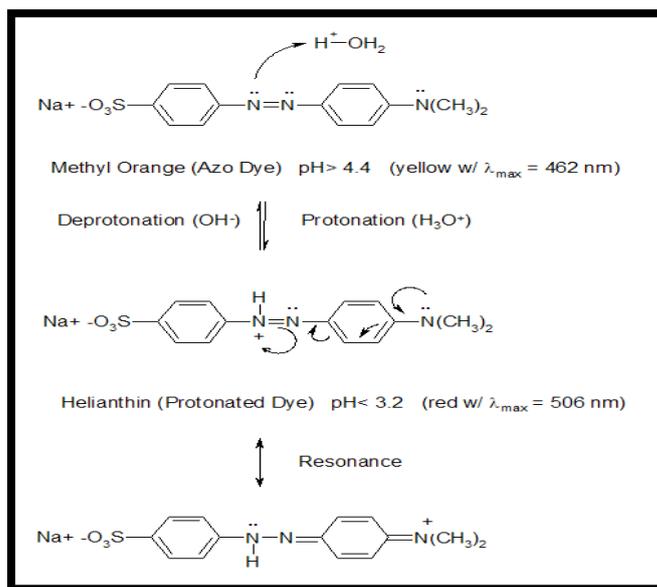


Figura 147: Estrutura molecular do alaranjado de metilo em função do pH do meio e o respetivo comprimento de onda de máxima absorção.

(Fonte: <https://sites.google.com/site/scientiaestpotentiaplus/alaranjado-de-metila>)

No laboratório do departamento de química da FCTUC, para o alaranjado de metilo em solução aquosa, diluído (para concentrações altas, há uma influência na absorvidade molar e a lei de Beer-Lambert deixa de ser válida, podendo as bandas de absorção sobrepor-se) e adicionando-lhe algumas gotas de solução diluída de hidróxido de sódio, verificámos, usando um espectrofotómetro, uma zona de absorção, na região do visível, estendendo-se de 350 nm a 550 nm (violeta, azul, azul-esverdeado, verde-azulado e verde) e com um máximo de absorção a 469 nm (azul) (fig.148). A cor da solução era amarela e a cor complementar é a azul (tabela 3).

[Nota: nesta atividade, devia-se medir o pH das soluções com um medidor de pH e registado os valores. As medições do pH das soluções foram feitas com o indicador universal.]

Comprimento de onda	Cor absorvida	Cor complementar
Abaixo de 380	Ultravioleta	
380 a 435	Violeta	Verde-amarelado
435 a 480	Azul	Amarelo
480 a 490	Azul-esverdeado	Alaranjado
490 a 500	Verde-azulado	Vermelho
500 a 560	Verde	Púrpura
560 a 580	Verde-amarelado	Violeta
580 a 595	Amarelo	Azul
595 a 650	Alaranjado	Azul-esverdeado
650 a 780	Vermelho	Verde-azulado
Acima de 780	Infravermelho	

Tabela 3: Cor absorvida, em determinados comprimentos de onda, e cor complementar.

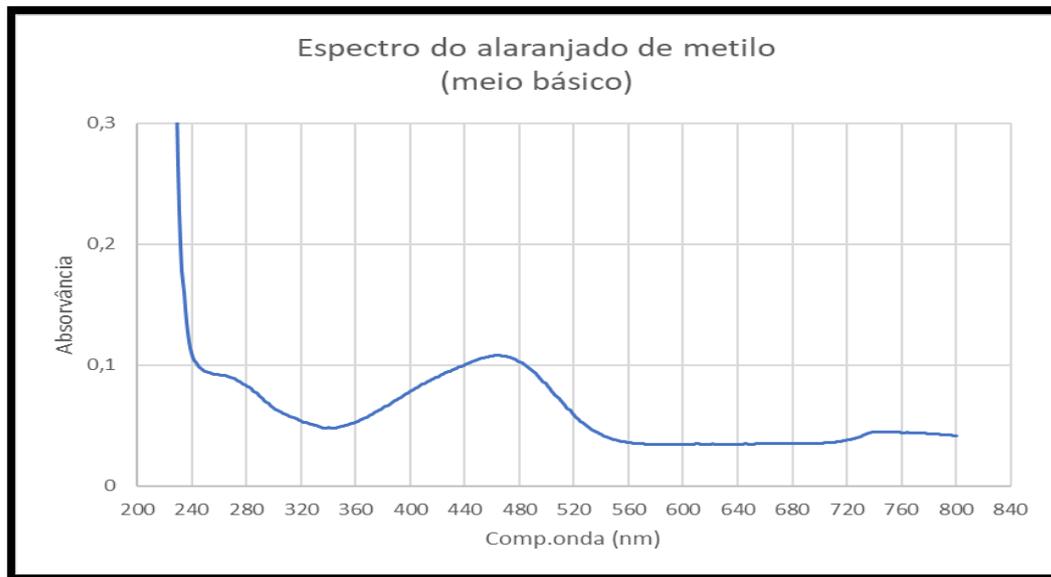


Figura 148: Espectro de absorção UV-Visível da solução aquosa de alaranjado de metilo em meio básico.

(Fonte: Gráfico obtido, pelo autor, no Excel)

Para a solução aquosa de alaranjado de metilo, adicionando-lhe algumas gotas de ácido clorídrico diluído, verificámos a presença de uma zona de absorção, na zona do visível, estendendo-se de 390 a 590 nm e com um máximo de absorção a 508 nm (entre o verde-azulado e o verde) (fig.149). A solução apresentava uma cor vermelha, resultante das restantes cores transmitidas.

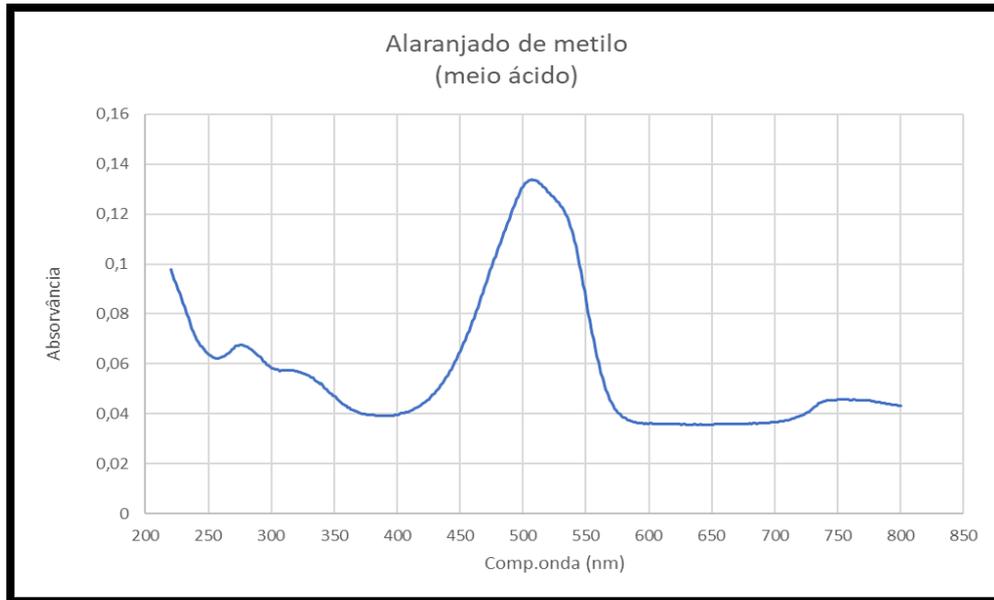


Figura 149: Espectro de absorção UV-Visível da solução de alaranjado de metilo em meio ácido.

(Fonte: Gráfico obtido, pelo autor, no Excel)

Os resultados da atividade laboratorial estão expressos na tabela 4:

Solução aquosa	Adição	pH	Cor da solução	Cor complementar
Alaranjado de metilo	Ácido clorídrico diluído		Vermelha	Verde-azulado
Alaranjado de metilo	Hidróxido de sódio diluído		Amarela	Azul

Tabela 4: Cores das soluções de alaranjado de metilo em função do pH do meio e as respectivas cores complementares.

Os flavonóides são compostos fenólicos com 15 átomos de carbono (C6-C3-C6), sendo constituídos por duas fenilas ligadas por uma cadeia de três carbonos entre elas (Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio, 2008). Nos compostos tricíclicos, as unidades são denominadas de núcleo A, B e C, e os átomos de carbono estão numerados com números ordinários nos núcleos A e C, e os mesmos números seguidos de linha (') no núcleo B.

Os flavonóides podem encontrar-se na forma aglicosilada e na glicosilada (agliconas e glicosídeos, respetivamente) e são classificados de acordo com o tipo de ligações, o número de grupos de hidroxilas e a presença (ou não) de acetonas (Malacrida, Cassia & Silvana da Motta, 2006). As estruturas químicas dos principais flavonoides são a flavonona, o flavanol, o flavonol, a flavona, a antocianidina e a isoflavona. Estas estruturas ou subclasses de flavonoides resultam de modificações no anel central (fig.150) (Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio, 2008).

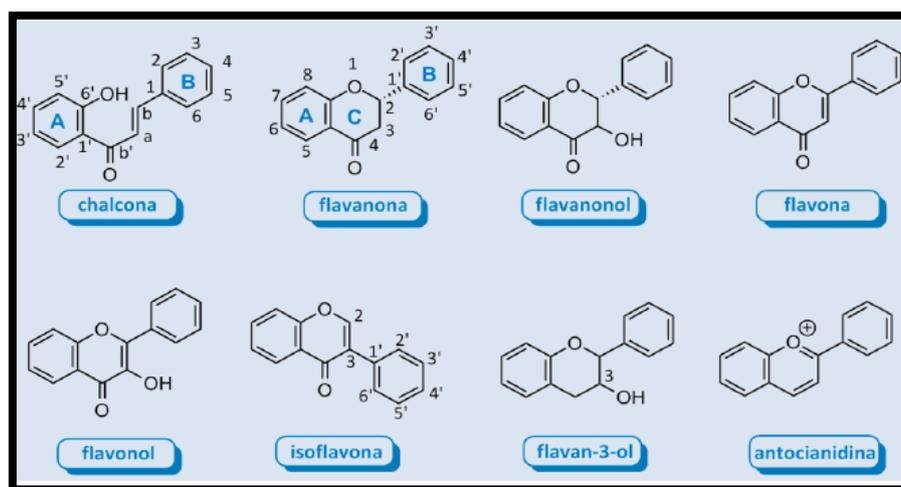


Figura 150: Estruturas químicas básicas dos flavonóides.

(Fonte: <http://flavonoidesantioxidantes.blogspot.com/2018/01/flavonoides-e-o-processo-inflamatorio.html>)

Nas antocianidinas – núcleo básico flavílio (cátion 2-fenilbenzopirílio ou catião flavílio) que consiste de dois anéis aromáticos unidos por uma unidade de três carbonos e condensados por um oxigênio – o componente C3 encontra-se na forma de íão pirílio (no qual o oxigênio se apresenta numa estrutura de íão oxônio) (Campos, L. S. & Mourato, Miguel, 1999). As antocianinas (apresentam grupos glicosados e são heterósidos) são derivadas das antocianidinas (não apresentam grupos glicosados) (Campos, L. S. & Mourato, Miguel, 1999). A molécula da antocianina (fig.151) é constituída por duas ou três porções, uma aglicona (antocianidina), um grupo de açúcares e, frequentemente, um grupo de ácidos orgânicos. As diferentes antocianinas diferem apenas nos grupamentos ligados aos anéis nas posições 3' (R5), 4' (R6), 5' (R7), 3 (R1), 5 (R2), 6 (R3) e 7 (R4), que podem ser átomos de hidrogênio, hidroxilas ou metoxilos. A cor de uma antocianina individual varia desde o vermelho (em meio ácido) até ao azul ou amarelo (em meio alcalino). O pH é o fator que mais influencia a coloração das antocianinas, uma vez que, em função da basicidade ou acidez do meio, estas podem se apresentar em diferentes formas estruturais (Francis, F. J., 1989, e Celso Bordignon Jr. & Vanessa Francescato & Alexandre Nienow & Eunice Calvete & Flávio Reginatto, 2009).

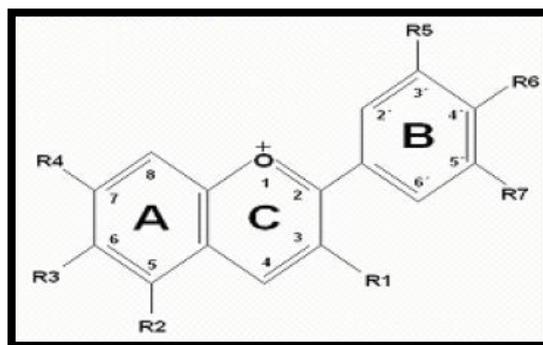


Figura 151: Estrutura básica das antocianinas (ião flavílio).

(Fonte: <http://www2.ufpel.edu.br/faem/agrociencia/v13n3/artigo02.pdf>)

As antocianinas são responsáveis pela cor da couve roxa e mudam de cor de acordo com o pH do meio (tabela 5). Um extrato natural de couve-roxa, graças às suas propriedades químicas, pode, assim, ser usado como um indicador de pH de uma solução.

Indicador	Cor em função do pH											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Jaboticaba	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Jambolão	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Petúnia	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Flamboyant	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Pata de Vaca	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Picão	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Repolho Roxo	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Quaresmeira	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Ipê Roxo	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Lobeira	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	
Fenolftaleína	Red	Orange	Yellow	Green	Blue	Green	Yellow	Orange	Red	Orange	Red	

Tabela 5: Ilustração da variação de cor de extratos de espécies de plantas em função do pH.

(Fonte: Wesson, Guimarães & Maria Alves & Nelson Filho, 2012 /

http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012000800030)

Elas encontram-se amide ligadas a moléculas de glicose. A cianidina-3-glicosídeo (fig.152), é um exemplo (Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio, 2008). Outro é a cianidina-3-p-cumarilsoforosídeo-5-glicosídeo, presente na couve-roxa (Malacrida, Cassia & Silvana da Motta, 2006). As diferenças estruturais são, sobretudo, o número de grupos hidroxilos e a existência de ligantes alifáticos ou carboxilatos aromáticos no açúcar da molécula.

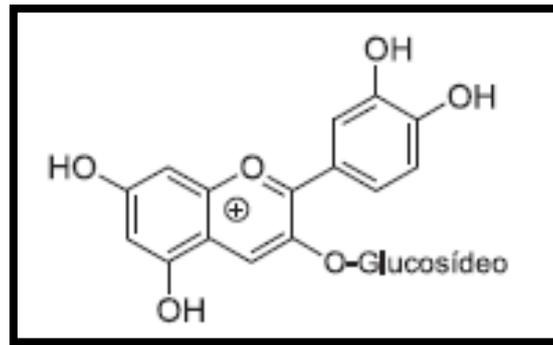


Figura 152: Estrutura química da cianidina-3-glicosídeo.

(Fonte: Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio, 2008)

Nas figuras 153 e 154 estão representadas as transformações estruturais das antocianinas em meio aquoso em função do pH: conforme o pH do meio, a estrutura molecular da cianina altera-se.

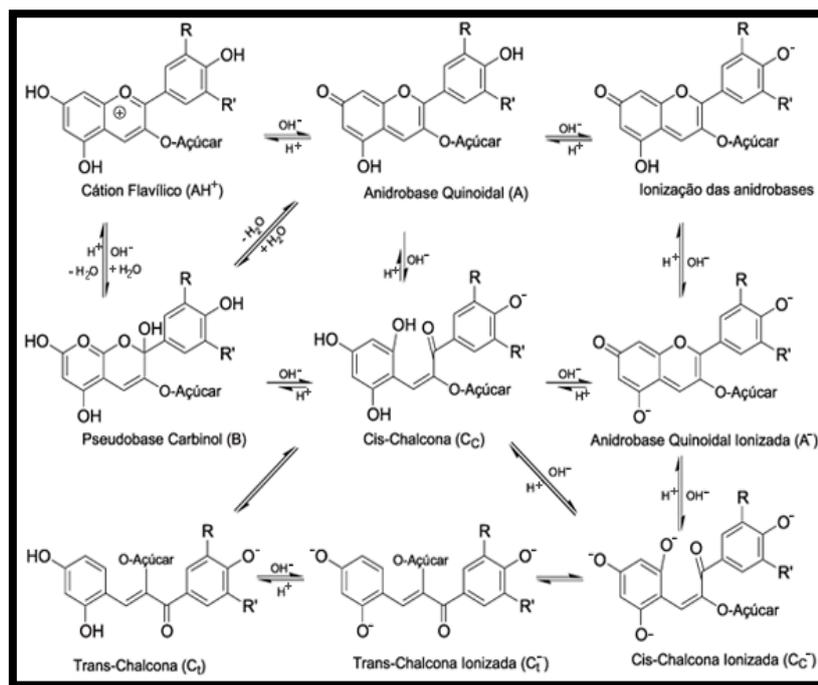


Figura 153: Possíveis transformações estruturais das antocianinas em meio aquoso em função do pH.

(Fonte: Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio, 2008)

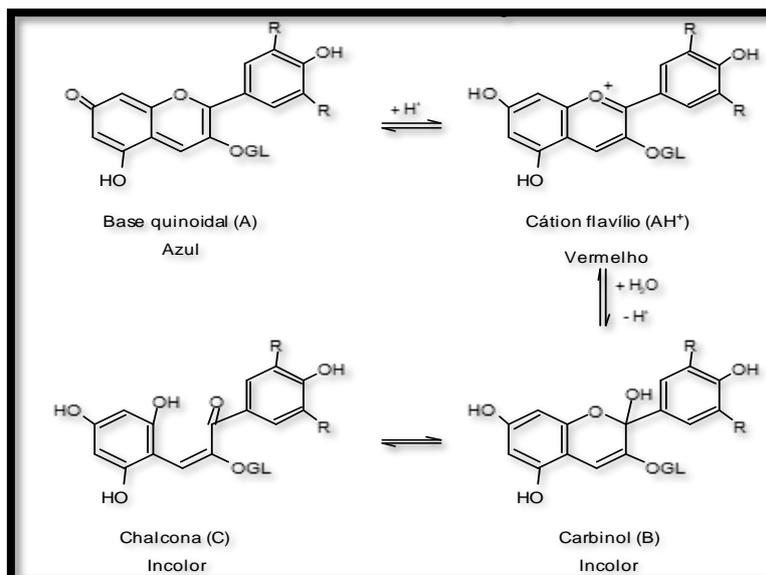


Figura 154: Formas estruturais de antocianinas em equilíbrio em solução aquosa.

(Fonte: Francis, F. J., 1989)

Assim, a estabilidade da cor das antocianinas depende da estrutura química e do pH (para além da concentração das mesmas e da temperatura). Em soluções ácidas, com pH menor do que 2, a antocianina é vermelha, predominando o catião flavílio (AH⁺). Se o pH da solução for maior do que 2, ocorrerá um equilíbrio entre o catião flavílio e a pseudobase carbinol (B). Se o pH da solução continuar a aumentar, as antocianinas descolorem até o pH ser igual a 6, predominando a pseudobase carbinol (B), que é incolor. Para um pH da solução maior do que 6, forma-se, primeiro, a anidrobases quinoidal (A) de cor púrpura e, com o aumento do pH, a anidrobases quinoidal ionizada (A⁻), de coloração azul. Se a pseudobase carbinol (B) ou a anidrobases quinoidal ionizada (A⁻) originarem a cis-chalcona (C_c), a solução adquirirá uma coloração amarela (Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio, 2008).

No que se refere aos espectros de absorção das antocianinas, à medida que o pH do meio é alterado, os máximos de absorção, no espectro UV-Vis das antocianinas, alteram-se drasticamente: se o pH aumentar, o número de ligações duplas conjugadas diminui, deslocando-se os máximos de absorção para comprimentos de onda menores. Os flavonoides evidenciam uma absorção elevada entre 250-270 nm (região U.V); as antocianinas, em particular, apresentam uma absorção elevada entre 520-560 nm (região do visível).

Num laboratório do departamento de Química da FCTUC, por adição de algumas gotas de ácido clorídrico a uma solução alcoólica de couve-roxa, esta adquiriu uma tonalidade púrpura, quase vermelha, e verificámos, no espectro de absorção UV-Visível (fig.155), a presença de uma banda de absorção entre 440 e 600 nm, com o máximo de absorção a 531 nm (na zona verde do espectro do visível).

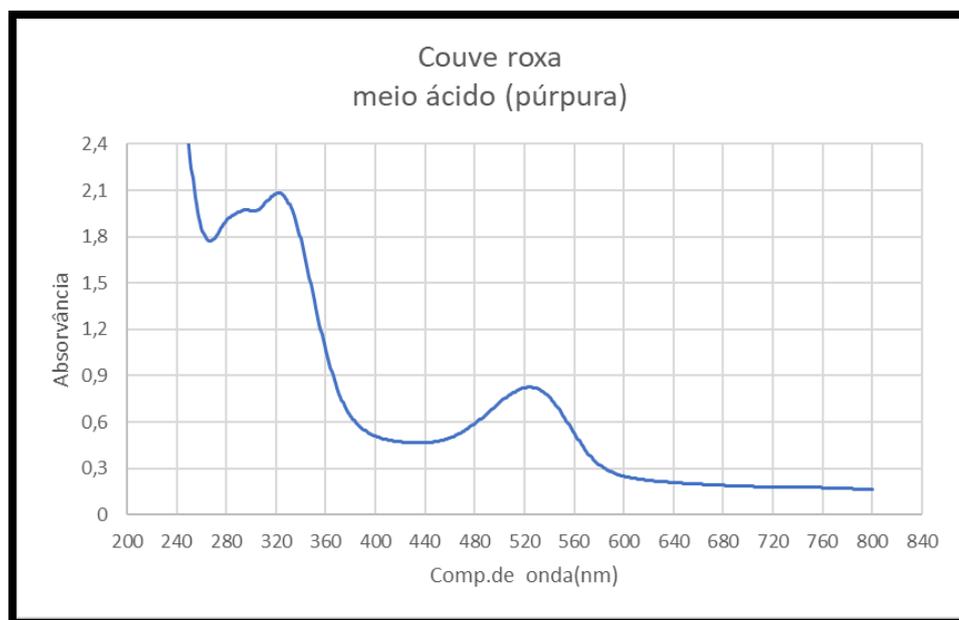


Figura 155: Espectro de absorção UV-Visível da couve-roxa em meio ácido.

(Fonte: Gráfico obtido, pelo autor, no Excel)

Da análise do espectro de absorção da solução alcoólica de couve-roxa (fig.156), cor de violeta, verificámos a existência de uma banda de absorção entre 450 e 650 nm, com o máximo de absorção a 542 nm, correspondente à zona verde e verde-amarelada do espectro do visível.

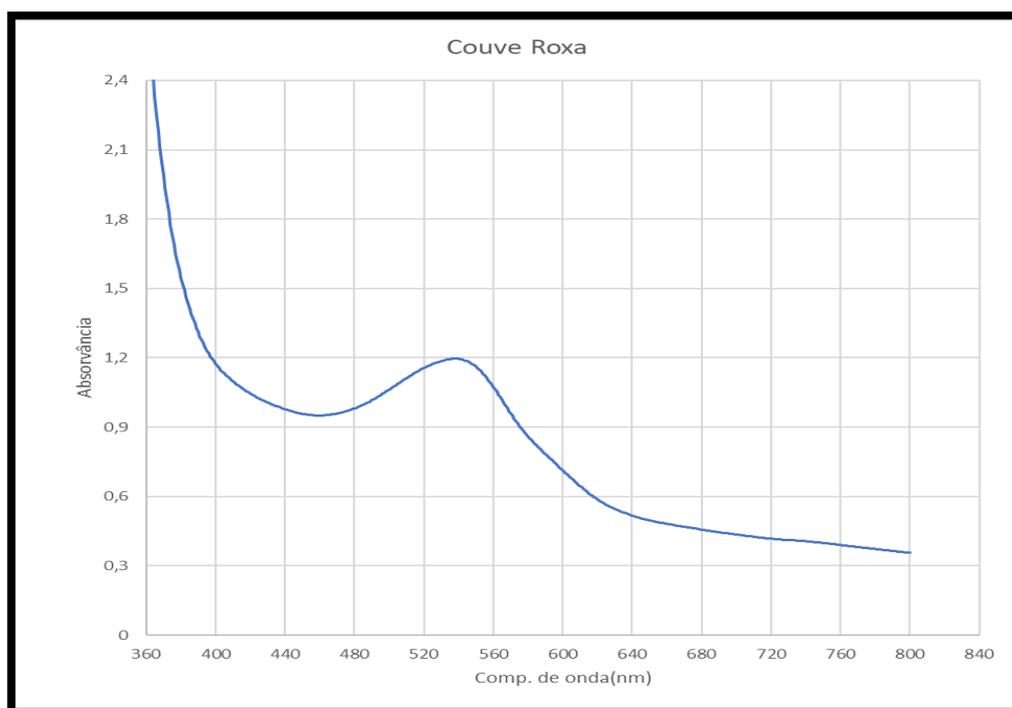


Figura 156: Espectro de absorção UV-Visível da solução alcoólica de couve-roxa.

(Fonte: Gráfico obtido, pelo autor, no Excel)

As duas bandas de absorção (da couve-roxa e da couve roxa em meio ácido), na zona do visível, são devidas à predominância do ião flavílio (AH^+). Com o aumento do pH, o máximo de absorção desloca-se ligeiramente para comprimentos de onda maiores.

Por adição de algumas gotas de solução diluída de hidróxido de sódio à solução alcoólica de couve-roxa, esta adquiriu a cor azul. No espectro de absorção (fig.157), verificámos a presença de uma banda de absorção, com o máximo de absorção a 554 nm (zona dos verdes do espectro do visível), e de absorção para comprimentos de onda inferiores 440 nm (zona dos violeta e ultravioleta). A banda de absorção na zona do visível (de 473 nm a 650 nm) é devida à predominância da anidrobases quinodal (A). A absorção na zona dos violeta e ultravioleta é devida já à presença de chalconas.

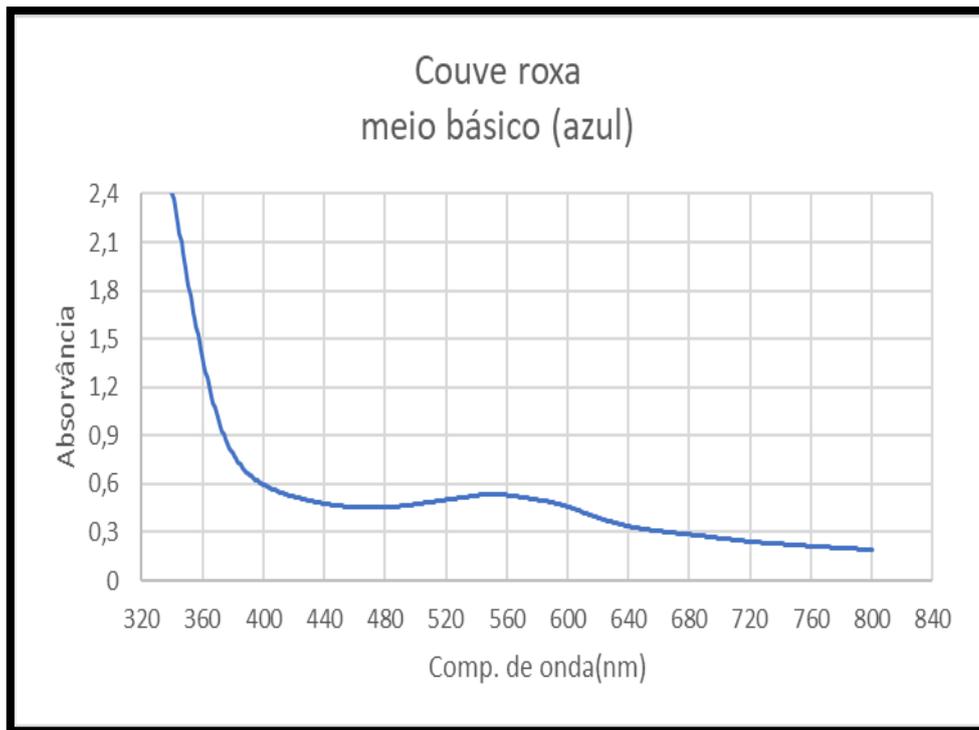


Figura 157: Espectro de absorção UV-Visível da couve-roxa em meio levemente básico.

(Fonte: Gráfico obtido, pelo autor, no Excel)

Por adição de mais gotas de hidróxido de sódio à solução alcoólica de couve-roxa, esta adquiriu uma cor verde. O espectro de absorção (fig.158) apresenta uma banda de absorção entre 318 nm e 500 nm, com o máximo de absorção a 381 nm (zona violeta do espectro do visível). A banda de absorção na zona do visível é devida às chalconas cis e trans. Neste espectro de absorção, observámos também uma banda de absorção, entre 250 e 300 nm, devido à pseudobase carbinol (B) que absorve nesta banda.

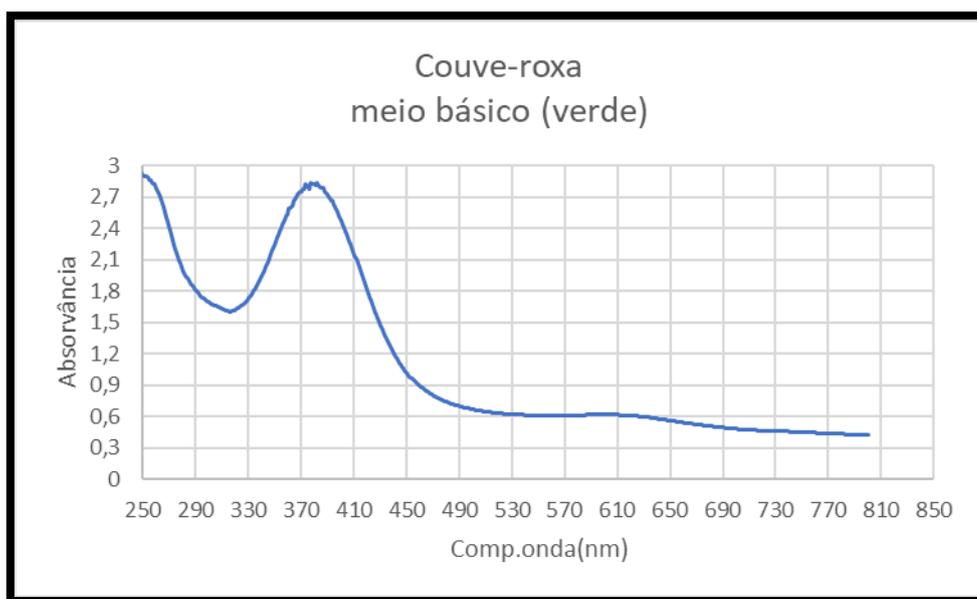


Figura 158: Espectro de absorção UV-Visível da couve-roxa em meio fortemente básico.

(Fonte: Gráfico obtido, pelo autor, no Excel)

Para as duas soluções de couve-roxa em meio básico, houve alterações de estrutura com diminuição do número de ligações duplas conjugadas, que se traduziu no deslocamento do máximo de absorção, na zona do visível, para comprimentos de onda menores.

Na tabela 6 estão representados os resultados obtidos para as quatro soluções alcoólicas de couve-roxa.

Solução alcoólica	Adição	pH	Cor da solução	Cor complementar
Couve-roxa	Ácido clorídrico diluído		Púrpura/Vermelho	Verde-azulado
Couve-roxa			Púrpura	Verde
Couve-roxa	Hidróxido de sódio diluído		Azul	Amarelo
Couve-roxa	+ Hidróxido de sódio diluído		Verde-amarelado	Violeta

Tabela 6: Cores das soluções alcoólicas em função do pH do meio e as respetivas cores complementares.

Depois destas atividades, compreenderemos melhor porque as hortênsias (fig.159) se apresentam azuis em meio básico e rosadas em meio ácido.



Figura 159: Jardim de hortênsias.

(Fonte: Kermen, Isabelle, 2015)

15.3 Jardins Químicos: Nucleação e Crescimento de Cristais

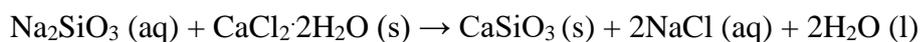
No poema “*Reflexão total*”, depois das lágrimas da amada, caídas na palma da mão do poeta, se evaporarem, surge o júbilo metaforizado num revolteio de aves e nos cristais que, entretanto, nasceram, cresceram e se formaram no seio lacrimal (Gedeão, António, 1982).

Recolhi as tuas lágrimas
na palma da minha mão,
e mal que se evaporaram
todas as aves cantaram
e em bandos esvoaçaram
em torno da minha mão.
Em jogos de luz e cor
tuas lágrimas deixaram

os cristais do teu amor,
faces talhadas em dor
na palma da minha mão.

Numa cristalização, um arranjo desordenado de partículas organiza-se num arranjo periódico denominado de cristal, ocorrendo uma mudança de fase. A cinética da cristalização divide-se em duas etapas: nucleação de cristais (início de uma região cristalina termodinamicamente estável) e o crescimento de cristais (desenvolvimento da região, aumentando de volume) (Teixeira, Clementina, 2000).

A nucleação e o crescimento de cristais são objeto de ensino no 12.º Ano de escolaridade e podem ser realizadas em laboratório. Na próxima atividade laboratorial, intitulada de “*Jardins Químicos*” (**Caixa VIII**), pretendemos que cloretos de iões metálicos hidratados reajam com o silicato de sódio para formarem uma membrana delgada de um silicato insolúvel, em torno dos sais de cloreto. Para o cloreto de cálcio dihidratado a equação da reação é a seguinte:



Caixa VIII**Jardins Químicos: Nucleação e Crescimento de Sais Metálicos de Cloretos Hidratados****Material**

- Copo de 300mL
- Vareta
- 6 espátulas
- 1 pinça
- 7 vidros de relógio
- Manta de aquecimento
- Proveta de 100mL
- Lupa
- Areia

Produtos

- Silicato de sódio (Na_2SiO_3)
- Cloreto de cobalto hexahidratado
- Cloreto de ferro (II) hexahidratado
- Cloreto de cálcio dihidratado
- Cloreto de níquel hexahidratado
- Cloreto de cobre (II) dihidratado
- Água destilada

Procedimento:

1. Mede 80mL de solução de silicato de sódio concentrada numa proveta.
2. Dissolve-a em 200mL de água destilada, num copo de 400mL com areia no fundo.
3. Mexe a solução com uma vareta.
4. Com uma espátula, retira uma pedra de cristal de cloreto de cobalto hidratado de um frasco e coloca-a num vidro de relógio. Depois, com o auxílio de uma pinça, coloca-a, cuidadosamente, no fundo do copo com a solução de silicato de sódio.
5. Repete os passos anteriores para o cloreto de ferro (II) hidratado, o cloreto de cálcio hidratado, o cloreto de níquel hidratado e o cloreto de cobre (II) hidratado.
6. Observa e compara os cristais formados, usando, se necessário, uma lupa.

Precauções:

O silicato de sódio provoca irritação em contacto prolongado com a pele.
Usa luvas de proteção e óculos de segurança.

Os “*Jardins Químicos*” baseiam-se, assim, na formação de uma membrana coloidal semipermeável, quando um sal de um metal é introduzido numa solução com iões silicato.

O silicato de sódio, um metassilicato, é um sal de cadeia infinda, denominado de piroxena (Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000). As cadeias são paralelas umas às outras e estão encadeadas pelos catiões metálicos (Si^{4+}) (fig.160). Na estrutura vítrea, os átomos de silício são

os formadores de rede; os átomos de oxigénio, que estão ligados a dois átomos de silício, são os que formam pontes de oxigénio; os oxigénios, que estão ligados a um formador de rede (Si^{4+}) e a um modificador de rede (o Na^+), são os que não formam pontes de oxigénio; e os iões de sódio, que não fazem parte da rede vítrea e estão conectados a oxigénios não formadores de pontes de oxigénio, são os modificadores de rede.

Assim que os sais hidratados se vão dissolvendo em água, os catiões metálicos combinam-se com os aniões de silicato, formando-se membranas insolúveis e semipermeáveis de silicatos em torno do cristal. Como dentro da membrana a concentração do sal é maior do que fora da membrana, a água (solvente) tende a entrar por osmose, para que as concentrações se igualem. Assim que a água entra dentro da membrana, ela estica e rompe-se, entrando mais sal e formando-se uma nova membrana (como as forças eletrostáticas entre os iões metálicos de Si^{4+} são fracas, as ligações podem-se quebrar facilmente; a energia de ligação é baixa, 222 KJ mol^{-1}); de seguida o processo volta a repetir-se. Consequentemente o cristal cresce e o crescimento ocorre no sentido ascendente, como as estalagmites, e designa-se por dendrítico.

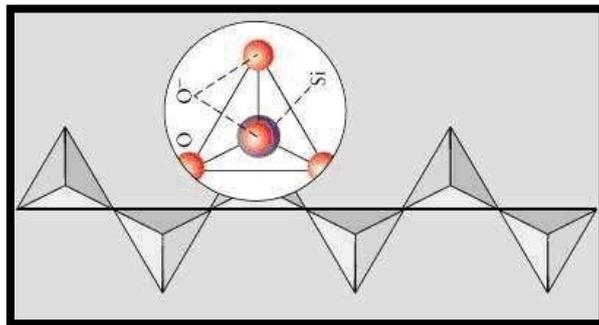


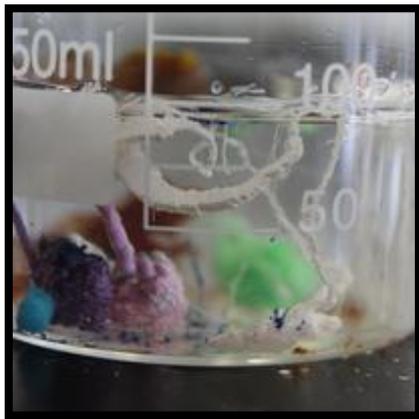
Figura 160: cadeia de um sal de silicato.

(Fonte: Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000)

Os cristais de cloreto de cobalto hexahidratado são azuis escuros; os de cloreto de ferro (II) hexahidratado são laranja-escuro ou marrom; os de cloreto de cálcio dihidratado são brancos; os de cloreto de níquel hexahidratado são verdes; e os de cloreto de cobre (II) dihidratado são verde-azuis claros.

Em laboratório e incluído no Dia Aberto realizado na escola secundária Infanta Dona Maria, observámos a formação de cristais de silicatos dos iões metálicos (fig.161). No copo, é bem visível o cristal branco de silicato de cálcio, o cristal verde de silicato de níquel, o cristal azul

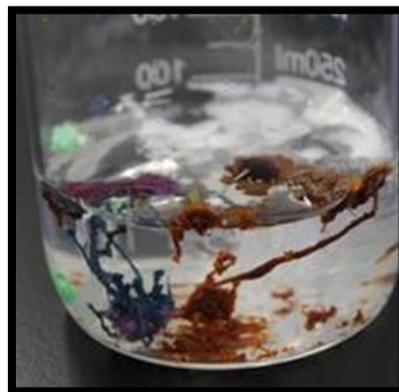
escuro de silicato de cobalto e o cristal marrom de silicato de ferro (II). O cristal de silicato de cálcio cresceu, de modo dendrítico, de imediato.



(a)



(b)



(c)

Figura 161 a, b e c: Cristais de silicatos metálicos.

(Fonte: Laboratório da Escola Secundária Infanta D. Maria.)

Existe uma grande abundância de cristais iónicos na natureza: as suas unidades estruturais são os iões e são eletricamente neutros. O cloreto de sódio, por exemplo, é formado por iões sódio e iões cloreto, ocupando cada um uma posição específica na estrutura do cristal (fig.162 e 163). Na estrutura do cristal contamos 13 iões cloreto (Cl^-) e 14 iões sódio (Na^+), pelo que tem de se imaginar cubos adjacentes às faces para o cristal ser eletricamente neutro (o número total de iões sódio tem de ser igual ao de iões cloreto, atendendo às cargas dos respetivos iões).

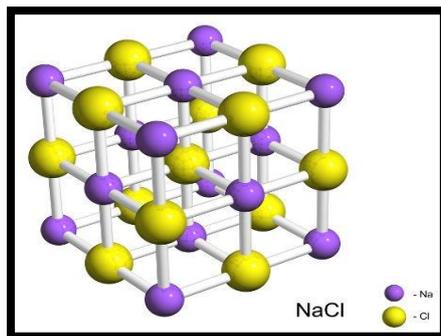


Figura 162: Estrutura do cloreto de sódio. As esferas amarelas representam os iões sódio e as verdes os iões cloreto.

(Fonte: <https://pt.quora.com/De-que-o-sal-é-feito>)

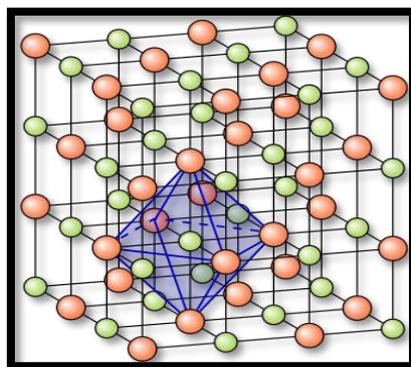


Figura 163: Estrutura octaédrica do cloreto de sódio. As esferas cinzentas representam os iões sódio e as vermelhas os iões cloreto.

(Fonte: https://pt.wikipedia.org/wiki/Cloreto_de_sódio)

Nos “*Cadernos de Iniciação Científica*”, encontramos um exemplo de crescimento de um cristal de sulfato de cobre pentahidratado obtido por cristalização, por nucleação na face, formando-se uma ilha em duas dimensões que cresce até às fronteiras do cristal. A metodologia a seguir está na **Caixa IX**.

Caixa IX**Crescimento de um cristal de sulfato de cobre pentahidratado****Material**

- Linha fina
- Copo de 200mL
- Vareta de vidro

Reagentes

- Água destilada
- Sulfato de cobre pentahidratado
- Cristal de sulfato de cobre pentahidratado

Procedimento

1. Escolhe um cristal de sulfato de cobre hidratado, obtido por cristalização num cristalizador.
2. Ata o cristal na ponta de uma linha.
3. Prepara uma solução saturada de sulfato de cobre pentahidratado (80g de sulfato de cobre hidratado em 100g de água a ferver), num copo de 200mL.
4. Suspende o cristal na solução, atando a outra ponta livre a uma vareta de vidro. Como a solução de sulfato de cobre está saturada, o cristal não se dissolverá.
5. Deixa o cristal suspenso na solução num lugar sossegado, enquanto a solução arrefece.
6. Retira o cristal, quando estiveres satisfeito com as suas dimensões, e enxuga-o. A linha que envolvia o cristal está agora dentro dele, porque sobre as suas faces se depositou sulfato de cobre que estava dissolvido na solução saturada. O depósito respeita a forma do cristal, mantendo-se as faces com as mesmas figuras geométricas, assim como os valores dos ângulos que fazem entre si.

Neste caso, a solubilidade do sulfato de cobre pentahidratado em solução aquosa diminui com a diminuição da temperatura (fig.164).

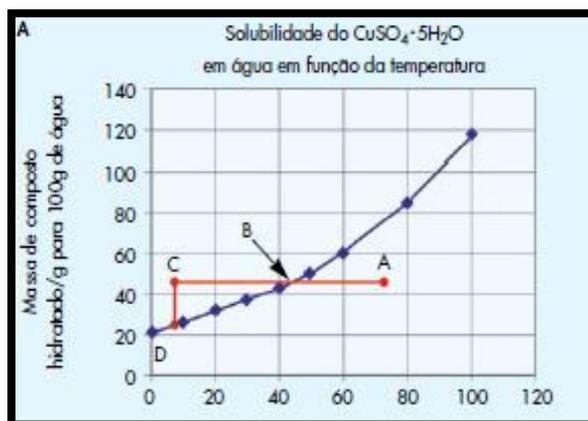


Figura 164: A solubilidade do sulfato de cobre pentahidratado (em gramas por 100g de água) em função da temperatura em graus Celsius.

(Fonte: Teixeira, Clementina, 2000)

Com um jardim artificial de cores, apesar de menos belo do que o quadro “*Jimson Weed / White Flower*” de Georgia O’Keeffe (fig.165), encerramos este capítulo, lembrando que há sempre alguma utilidade no que se julga ser inútil, como nos diz Eugene Ionesco:

O homem moderno, universal, é um homem atarefado: não tem tempo, é prisioneiro da necessidade, não compreende como algo possa não ser útil; não compreende nem mesmo como, na realidade, até mesmo o útil possa ser um peso inútil, opressivo. Se não se compreende a utilidade do inútil, a inutilidade do útil, não se compreende a arte.
(Nuccio Ordine, 2017).



Figura 165: *Jimson Weed / White Flower* de Georgia O’Keeffe

(Fonte: <https://www.artlyst.com/news/buyer-of-georgia-okeeffe-painting-for-record-44-million-revealed/>)

16. Trabalhos Práticos de Química

Todo o conhecimento provém da experiência. A ciência, que é conhecimento, provém da experiência.

Rómulo de Carvalho

(Carvalho, Rómulo de, 2004)

O filósofo britânico, John Locke (1632-1704), considerava que o espírito humano seria, inicialmente, como uma tábua rasa, e que, depois, o homem aprenderia pela experiência. Esta seria um manancial de conhecimentos primordiais e do saber. Os conhecimentos primordiais, a forma mais simples de conhecimento, teriam origem nas impressões, causadas pelos objetos nos nossos sentidos, que, depois, iriam constituir os dados da percepção. Já o saber em si, mais elaborado, resultaria da sensação e das percepções formadas pelos sentidos. A ciência seria, deste modo, conhecimento positivo e demonstrável (Formosinho, Sebastião, 2007). Este filósofo e pedagogo argumentava que as crianças necessitavam de fazer coisas práticas durante a sua educação e era também da opinião de que o ensino devia ser fácil, sucinto e assente em bases sólidas (Locke, John, 2019).

Na segunda metade do século XVIII, com a consolidação da burguesia e a disseminação do iluminismo, começou a defender-se a integração da ciência nos conteúdos curriculares. No fim da segunda década do século XX, depois do flagelo da primeira guerra mundial, onde ocorrera a desapareção de Henry Moseley e de Alain Fournier, o laboratório era já o meio de testar e confirmar a informação previamente aprendida pelo aluno (Romey, W. D., 1968). Durante os anos sessenta e setenta do século XX, a ideia da “aprendizagem por descoberta”, fomentada por Jean Piaget, arvorou; nela reclamava-se dos alunos mais atividade (devia descobrir e construir autonomamente o seu conhecimento, levando em consideração o meio e as suas vivências pessoais) e uma mudança no modo de perspetivar o laboratório (devia deixar de ser o “laboratório de ensino” para se tornar num espaço de investigação e descoberta de conceitos e relações conceituais, cabendo ao professor o papel de encorajador e orientador da aprendizagem) (Piaget, Jean, 2006). Em 1937, já tinha escrito que *cada vez que se ensina prematuramente a uma criança algo que ela poderia ter descoberto por si, ela fica impedida de a inventar e, por isso, de a compreender completamente* (Piaget, Jean, 2006). O laboratório passou, desde então, a ser tomado como o centro da instrução na área das ciências: as

discussões, as lições e os textos advirão das atividades laboratoriais. Quem não concordava, com a ideia da “aprendizagem por descoberta”, era o russo Lev Vigotski, considerando que o ensino era essencial para o desenvolvimento das funções psíquicas responsáveis pelas aprendizagens (Vigotski, L. S., 2001).

O trabalho, realizado no laboratório, deverá levar à aquisição de perícias de manipulação, de capacidades de observação e de capacidades para interpretar dados experimentais e planejar experiências (Kerr, J. F., 1963). Aqui, o professor terá de ter em consideração que, para desenvolver no estudante capacidades de observação, não basta dizer-lhe para observar com atenção, é também preciso mostrar-lhe como se observa; e que uma quantidade elevada de informação nos guias curriculares (instruções práticas, nomes de reagentes pouco familiares, materiais, nomes de equipamentos, mudanças de cor e libertação de gases) pode sobrecarregar a memória de trabalho do estudante (Johnstone, A. H. & J. B. Wham, 1982). Nos manuais escolares, alunos e professores deparam-se, frequentemente, com os termos “trabalho laboratorial”, “trabalho prático” e “trabalho experimental”, para se referirem à mesma realidade. A expressão “trabalho laboratorial” usa-se para atividades que envolvem o uso de materiais de laboratório; a expressão “trabalho prático” para atividades ligadas a um fazer, apesar de se lhe estar associado uma teoria; e a expressão “trabalho experimental” para atividades que envolvem o controlo e manipulação de variáveis. Muitos autores preferem, no entanto, a expressão “atividade laboratorial”, com o sentido de quem exerce uma ação já com intenção reflexiva (Cardoso, A. Correia, 2004).

No livro, *Guia De Trabalhos Práticos De Química, Para O 3.ºCiclo Do Ensino Liceal* (fig.166), editado em 1971, ainda antes da revolução dos cravos, Rómulo de Carvalho usa a expressão “trabalhos práticos de química”, subentendendo-se um carácter meramente mecânico ou um fazer em laboratório. Por outro lado, os trabalhos, sugeridos no livro, para além de serem práticos, são fechados, porque aplicam conhecimentos, que devem estar adquiridos, para concretizar uma finalidade prática, e têm apenas uma solução no que respeita ao seu grau de abertura (Cardoso, A. Correia, 2004). Estes trabalhos práticos ou têm como objetivo a observação de aspetos qualitativos (por exemplo, as substâncias que se formam durante uma eletrólise) ou o encontro de valores para uma determinada grandeza, por meio de medições e leis quantitativas (por exemplo, determinar a massa de uma substância que se forma sobre um elétrodo). Rómulo de Carvalho centra-se numa pedagogia tradicional: anuncia a finalidade do problema, nomeia o material e os reagentes necessários e expõe o procedimento e, por vezes, o

resultado. No entanto, cabe ao aluno a realização do trabalho. Ele terá, somente, de ler e seguir as instruções, para resolver o problema. Apesar de haver correção nos conteúdos e conceitos, clareza de linguagem e simplicidade dos diagramas, parece-nos que esta pedagogia (mais presa aos fins do que à melhoria dos meios para alcançá-los) pode desresponsabilizar de certa forma o estudante, não se desenvolvendo nele uma atitude crítica. O trabalho prático-laboratorial deverá também inspirar o aluno a inventar, a descobrir e a inculcar o método científico. No livro, referido anteriormente, Rómulo de Carvalho sugere-nos, para o 6.º ano de escolaridade de então, o estudo das características físicas e químicas do ácido clorídrico, que abordaremos de seguida.



Figura 166: Capa do livro “*Guia De Trabalhos Práticos De Química*”.

(Fonte: Carvalho, Rómulo de, 1971)

16.1 Preparação de uma Solução de Cloreto de Hidrogénio em Água e Verificação do seu Caráter Eletrolítico.

A preparação de uma solução de ácido clorídrico é uma das atividades práticas de laboratório propostas por Rómulo de Carvalho (**Caixa X**). Para que no 11.º Ano de escolaridade o aluno verifique por eletrólise o caráter eletrolítico de uma solução diluída de cloreto de hidrogénio em água, podemos segui-la para preparar previamente a solução anterior. Como esta atividade envolve uma solução de ácido clorídrico diluída devemos, também, realizá-la.

A – Preparação de uma solução de cloreto de hidrogénio em água

A atividade começa pela reação do ácido sulfúrico com o sal de cloreto de sódio. Aqui, em vez de usarmos o bico de Bunsen, propomos o uso de uma manta de aquecimento. Propomos, também, a introdução à priori de água no Erlenmeyer, onde o gás de cloreto de hidrogénio se

dissolverá (fig.167). Ao redor da rolha enfiada no Erlenmeyer, na sugestão de Rómulo de Carvalho, deve estar uma tira de papel azul de tornesol humedecido, para identificar o gás. Este procedimento, para testar o carácter ácido da solução no papel humedecido, pode ser substituído, deixando cair algumas gotas de tintura de tornesol no Erlenmeyer já com água, antes do aquecimento, ou na solução, depois de retirarmos o tubo de vidro. O tubo de vidro duas vezes dobrado em ângulo reto pode preparar-se em laboratório, seguindo as instruções de Rómulo de Carvalho, explícitas no livro: adapta ao bico de Bunsen um bocal que dará origem a uma chama baixa e larga; aquece a zona a dobrar, no seio da chama, rodando continuamente o tubo, ao longo do seu eixo longitudinal, para que o aquecimento seja uniforme; quando o tubo começar a amolecer (a chama a tornar-se amarela devido ao vapor de sódio que entra na composição do vidro), retira-o da chama, e, de modo célere e cuidadoso, dobra-o com ambas as mãos (Carvalho, Rómulo de, 1971).

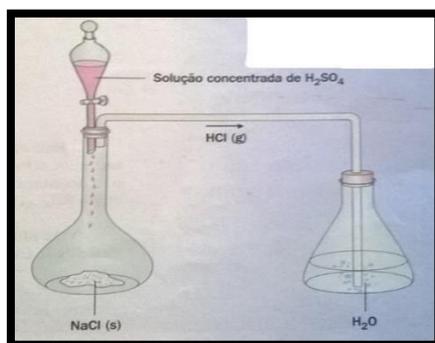


Figura 167: Montagem experimental para a obtenção de uma solução aquosa de cloreto de hidrogénio.

(Fonte: Camões, Alda Pereira & Filomena, 1996)

Caixa X**A) – 1 – Preparação do ácido clorídrico.**

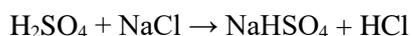
MATERIAL: Um balão de meio litro; tubo de carga com funil de torneira; tubo abdutor duas vezes dobrado em ângulo recto; um balão de 250cm³; tripé de ferro; suporte: copo cónico.

REAGENTES: sal das cozinhas; ácido sulfúrico concentrado.

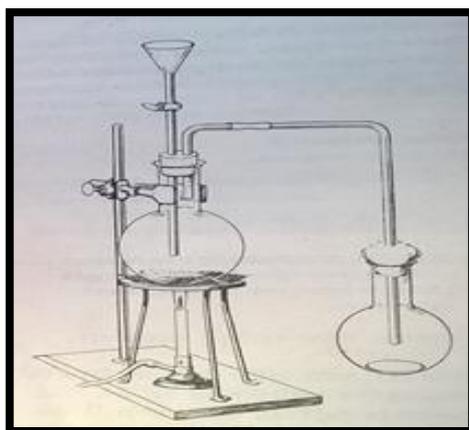
Deite-se sal das cozinhas ⁽¹⁾ num balão de meio litro de capacidade e monte-se o dispositivo indicado na figura. 84. Deite-se ácido sulfúrico concentrado no funil de torneira e deixe-se cair alguns centímetros cúbicos do líquido sobre o sal. Observe-se a efervescência que logo se desenvolve acompanhada da formação de espuma. Aqueça-se com **chama fraca**. A efervescência aumenta progressivamente ao mesmo tempo que se nota e acentua o cheiro picante do gás clorídrico.

⁽¹⁾A substância que interessa à reação é o cloreto de sódio mas, para o efeito, emprega-se, por economia, o sal das cozinhas.

A equação da preparação é a seguinte:



Introduza-se a extremidade do tubo abdutor até ao fundo de um balão vazio, de 250 cm³, que se irá enchendo de gás. Coloque-se uma tira de papel azul de tornessol, humedecido, na boca deste balão. Quando o papel avermelhar retire-se o balão, que então estará cheio de gás, e rolhe-se.



O gás de cloreto de hidrogénio é, de um modo geral, produzido pela reação do ácido sulfúrico com o sal de cloreto de sódio. Também podemos obtê-lo pela reação do hidrogénio gasoso com o cloro gasoso. Gay-Lussac (fig.168), químico francês, estudou, no dealbar do século XVIII, esta reação e verificou, como vimos anteriormente, que, nas condições de pressão e temperatura normais, os volumes de combinação dos gases estavam sempre na mesma proporção. Se se obtivesse 20 cm³ de cloreto de hidrogénio, os gases reagentes estariam na proporção de 10cm³ para 10 cm³. Se se obtivesse 10 cm³ de cloreto de hidrogénio, os gases reagentes estariam na proporção de 5cm³ para 5cm³.

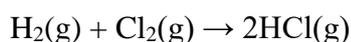
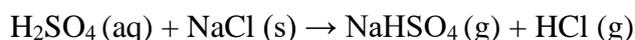


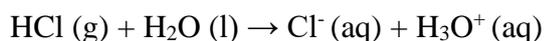
Figura 168: Joseph Louis Gay-Lussac

(Fonte: https://en.wikipedia.org/wiki/Joseph_Louis_Gay-Lussac)

A montagem (fig.165) permite-nos a sua obtenção em laboratório. Neste caso, por razões de poupança e habituação aos nomes comuns dos compostos químicos, aconselhamos o uso do sal das cozinhas. A equação da reação é a seguinte:



Em solução aquosa, o cloreto de hidrogénio ioniza-se, originando uma solução aquosa de ácido clorídrico. A equação da reação de ionização do cloreto de hidrogénio em água, com a formação de um ião cloreto e de um ião hidrónio, é a seguinte:



O ácido clorídrico obtido é o mesmo que se usa na remoção das camadas de «pedra», que se acumulam nas caldeiras de água, e é, também, denominado de ácido muriático.

Sobre a tintura de azul de tornesol, sabemos que, em solução com pH inferior a 5, adquire uma cor avermelhada. Assim, em solução aquosa de cloreto de hidrogénio, o azul de tornesol apresentar-se-á como vermelho, devido à presença dos iões hidrónio provenientes da ionização.

B- Verificação do carácter eletrolítico de uma solução de cloreto de hidrogénio em água

A metodologia para a verificação do carácter eletrolítico de uma solução aquosa de cloreto de hidrogénio está descrita na **Caixa XI**.

Uma substância, que em solução aquosa não origine iões, não conduz a corrente elétrica e designa-se por não eletrólito. Por outro lado, uma substância molecular, que em solução aquosa reaja com a água, ioniza-se e designa-se por eletrólito. Também um sal, que em água se dissocia em seus iões, é um eletrólito (Camões, Alda Pereira & Filomena, 1996).

Para qualquer solvente, dizemos que um eletrólito é uma substância que dissolvida origina uma solução que contém iões (esta solução conduz a eletricidade e diz-se eletrolítica). Se todas as unidades estruturais da substância dissolvida originarem iões em solução, a substância é um eletrólito forte; se apenas algumas unidades estruturais originarem iões em solução, a substância é um eletrólito fraco. Um não eletrólito é uma substância que dissolvida origina uma solução que não contém iões (como esta solução não conduz a eletricidade, dizemos que é não eletrolítica) (Camões, Alda Pereira & Filomena, 1996).

O cloreto de hidrogénio em água ioniza-se, como vimos, em iões cloreto e iões hidrónio, originando uma solução diluída de ácido clorídrico.

Caixa XI**Material**

- Gobelé
- Fonte de alimentação (6V)
- Eléttodos de grafite
- Lâmpada com voltagem apropriada
- Fios condutores
- Interruptor

Reagentes

- Solução aquosa de cloreto de hidrogénio

Procedimento:

- 1- Transfere a solução preparada anteriormente para um gobelé.
- 2- Recorrendo à montagem (fig.169), testa o carácter eletrolítico da solução de ácido clorídrico, pela observação da condução ou não da corrente eléctrica, quando os eléctodos de grafite estão mergulhados nela.

Registo de observações:

- 1- Verifica se a lâmpada se acende.
- 2- Compara o resultado com a cor que a solução de azul de tornesol adquire na solução diluída de ácido clorídrico.
- 3- Retira conclusões sobre a ocorrência (ou não) de ionização do cloreto de hidrogénio em água.
- 4- Relaciona o carácter iónico da solução com o carácter ácido.

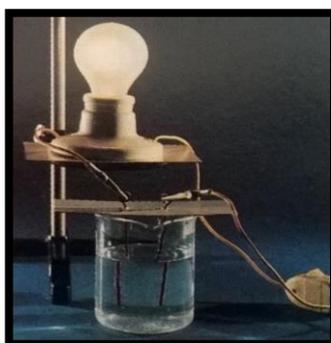
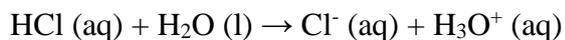


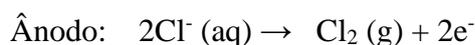
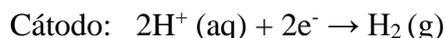
Figura 169: montagem para testar o carácter eletrolítico da solução de ácido clorídrico.
(Fonte: Jones, Loretta & Peter Atkins, 2000)

Precauções: O ácido clorídrico é corrosivo (em caso de queimadura da pele, passar primeiro por água, depois por uma solução de bicarbonato de sódio, e, finalmente, de novo por água).

Como o cloreto de hidrogénio em solução aquosa se encontra quase totalmente ionizado, dizemos que é um eletrólito forte, e, como se trata de um ácido, dizemos que é um ácido forte.



Neste caso, a eletrólise ocorrerá e a lâmpada acender-se-á. Usando elétrodos de grafite, formam-se cloro e hidrogénio gasosos. As equações das semirreações de redução e de oxidação são as seguintes:



E a equação da reação:



16.2 Determinação Experimental do Número de Moléculas de Água de Cristalização de um Sal de Cloreto de Bário Hidratado

Uma outra atividade prático-laboratorial, sugerida neste livro, é a determinação experimental do número de moléculas de água de cristalização de um sal. No 10.º Ano de escolaridade, podemos realizá-la para que o aluno associe a fórmula química de um sal hidratado à natureza dos elementos químicos que a compõem (significado qualitativo) e à relação em que os átomos de cada elemento químico (iões ou moléculas) se associam entre si. Pretendemos, portanto, determinar experimentalmente o número de moléculas de água de cristalização de um sal. Para o efeito, Rómulo de Carvalho recomenda que se escolha um sal que não seja eflorescente, nem deliquescente, nem se altere em contato com o ar ou quando aquecido (**Caixa XII**) (Nota: o sulfato de cobre pentahidratado perde a água de cristalização apenas a 500°C). O sal escolhido é o cloreto de bário dihidratado ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). O carbonato de sódio hidratado e o cloreto de cobalto (II) hidratado, por exemplo, são sais eflorescentes, porque, expostos ao ar e em atmosferas secas, perdem espontaneamente a sua água de cristalização (Simões, Teresa Sobrinho, *et al*, 1995, e Teixeira, Clementina, 2000). Como exemplo de um sal deliquescente, temos o cloreto de magnésio; este sal, quando hidratado e exposto a ambientes húmidos, perde

a forma cristalina, dissolvendo-se na humidade presente. A deliquescência é um caso extremo de higroscopia, isto é, da tendência de alguns compostos para absorver a humidade do meio (Simões, Teresa Sobrinho, *et al*, 1995). Escolhido o sal e o material (uma balança de pratos, massas marcadas, um cadinho, um exsiccador, um tripé, uma rede, um bico de Bunsen e uma pinça), podemos realizar a atividade (**Caixa XIII**). Notemos que, hoje em dia, poderíamos colocar o sal hidratado numa estufa a 105-110°C, durante duas horas, e depois arrefece-lo num exsiccador; e, em detrimento da balança de pratos, usaríamos uma balança digital.

Caixa XII

Para os estudantes liceais determinarem experimentalmente o número de moléculas de água de cristalização de um sal convém escolher um que não seja eflorescente nem deliquescente nas condições em que se trabalha, nem se altere de qualquer modo quando exposto ao ar, nem se decomponha quando aquecido. Aconselha-se, em especial, o emprego do cloreto de bário ou de qualquer dos seguintes sulfatos: de magnésio, de cálcio ou de cobre.

Caixa XIII

Procedimento:

- a) Coloque-se tara no prato esquerdo de uma balança e, no direito, um cadinho e massas marcadas que acabem de equilibrar a tara (1ª pesada).
- b) Deite-se, no cadinho, um pouco de cloreto de bário cristalizado e previamente guardado num exsiccador. Equilibre-se de novo a balança (2ª pesada).
- c) Coloque-se o cadinho, destapado, sobre a rede de um tripé e aqueça-se com chama fraca, que apenas lhe toque no fundo, durante 8 a 10 minutos. Ao fim deste tempo já o sal deve apresentar aspeto seco e, sendo assim, eleve-se a chama e aqueça-se durante mais 5 minutos. Pegue-se no cadinho com a pinça, coloque-se, sem rede, num triângulo de porcelana e aqueça-se até ao rubro durante 5 minutos. Retire-se então e ponha-se a arrefecer no exsiccador.
- d) Quando tiver resfriado, coloque-se de novo o cadinho no prato da balança e torne-se a equilibrar a mesma tara (3ª pesada). A diferença que se notar em relação à segunda pesada indicará a massa da água de cristalização perdida no aquecimento.

Rômulo de Carvalho deixa, ainda, ao leitor-aluno, uma recomendação para o caso de o aquecimento não ser suficiente para libertar toda a água de cristalização. Também adverte, caso se opte por sulfato de cobre, para o não colocar demasiado tempo a aquecer porque este se decompõe em óxido cúprico, por ação do calor (**Caixa XIV**).



São estes pormenores, a escolha do sal e as possíveis reações, que um professor deve considerar na preparação da atividade.

Caixa XIV

O facto de o valor de n ser um número inteiro facilita muito a sua determinação. O aquecimento a que o sal foi submetido pode não ter sido suficiente para libertar toda a água de cristalização. Seria, então, necessário, depois da 3ª pesada, tornar a aquecer o cadinho fortemente, e a coloca-lo no exsicador e, seguidamente, na balança.

No caso de se utilizar o sulfato de cobre, deve escolher-se o pulverizado. Aquece-se até perder completamente a cor azul, mas não se deve prolongar o aquecimento além disso para evitar a decomposição do sal. A massa contida no cadinho enegrecerá, devido à formação de óxido cúprico.

Depois de realizarmos esta atividade, o aluno saberá que o cloreto de bário dihidratado ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) contém, na sua estrutura, além dos iões bário (Ba^{2+}) e dos iões cloreto (Cl^-), moléculas de água. Dizemos, por isso, que é um sal hidratado. Já a forma BaCl_2 é a anidra.

Rómulo de Carvalho apresenta, também, um exemplo, para os valores das pesagens (tabela 7).

	(1ª pesagem)	(2ª pesagem)	(3ª pesagem)	Cloreto de bário hidratado	Água de cristalização
Massa (g)	+ 12,053	+8,535	+7,900	4,153	0,635

Tabela 7: Pesagens efetuadas e massas calculadas

Assim, concluímos que as 4,153g de cloreto de bário cristalizado perdem, por aquecimento, 0,635 g de água de cristalização. Considerando a fórmula do cloreto de bário hidratado ($\text{BaCl}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$), a fórmula do cloreto de bário anidro (BaCl_2), a massa molar do cloreto de bário ($208,4 \text{ g mol}^{-1}$) e a da água (18 g mol^{-1}), relaciona-se a massa do cloreto de bário hidratado com a massa de água de cristalização perdida do seguinte modo:

$$\frac{M(\text{BaCl}_2) + n \times M(\text{H}_2\text{O})}{n \times M(\text{H}_2\text{O})} = \frac{4,153}{0,635}$$

E obtemos para n o valor de 2,09 mol. Como n tem de ser um inteiro, o número de moléculas de água de cristalização é de duas. Logo, a fórmula química do sal hidratado é $\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

Nenhum curso de Química pode considerar-se completo sem incluir o trabalho prático de laboratório. Em o livro “*Methods of Teaching Chemistry*” Stephan Forster diz-nos mesmo que *Centuries of purely deductive work did not produce the same utilitarian results as a few decades of experimental work* (Forster, Stephan, 2009). Se as duas atividades práticas, referidas anteriormente, forem bem planeadas, a sua execução experimental poder-se-á traduzir em conhecimento científico.

17. Planificação de Atividades Pedagógicas sobre a Experiência de Oersted e a Experiência de Faraday

Planificação de Aula 1 (Experiência de Oersted)

Nível de Escolaridade: 11.º Ano

Disciplina: Física e Química A

Conteúdos:

- Campo magnético criado por correntes elétricas retilíneas.

Objetivos:

- Verificar que uma corrente elétrica estacionária faz rodar uma agulha magnética colocada paralelamente a ela.
- Verificar que o sentido em que a agulha magnética roda depende do sentido da corrente elétrica no fio condutor.
- Interpretar o desvio que uma agulha magnética sofre quando colocada paralelamente a uma corrente estacionária.
- Identificar um campo magnético pela sua ação sobre uma agulha magnética, que se manifesta através de forças magnéticas.
- Caracterizar o campo magnético criado por uma corrente elétrica estacionária.
- Verificar que uma corrente elétrica estacionária não faz rodar uma agulha magnética colocada perpendicularmente a ela.
- Interpretar o não desvio de uma agulha magnética quando colocada perpendicularmente a um fio condutor.
- Analisar os resultados experimentais.

Espaço: Laboratório de Física

Duração: 60 minutos

Recursos Pedagógicos:

- Pilha de 4,5 V
- Agulha magnética
- Dois fios de ligação longos e de cobre
- Interruptor de pressão
- Guião para a atividade laboratorial
- Íman em barra

Metodologia:

- 1- Verificação experimental de que uma corrente elétrica estacionária faz rodar uma agulha magnética colocada paralelamente a ela.

De início, transmitimos os objetivos da atividade experimental. Em laboratório, dividimos os alunos em pequenos grupos, fazemos uma referência breve à descoberta da pilha de Volta, que permitiu a obtenção de correntes elétricas num circuito elétrico, e recordamos alguns dos componentes de um circuito elétrico, assim como as noções de diferença de potencial, entre dois pontos de um fio condutor metálico, e de corrente elétrica. Depois, voltamos a recordar que a Terra se comporta como um íman de modo que uma agulha magnética se orienta sempre numa determinada direção (podemos exemplificá-lo recorrendo a uma bússola).

Cada um dos grupos aproxima os pólos de um íman de uma agulha magnética, para observar em que sentido roda a agulha e relacioná-lo com as linhas de campo que entram e saem do íman, com as linhas do campo terrestre e com as forças que atuam nas pontas da agulha magnética (mais propriamente nas correntes elétricas circulares aí existentes). Cada um dos grupos faz, de seguida, uma montagem, colocando a porção do fio condutor que sai do pólo positivo da pilha numa direção paralela à linha N-S da agulha, com o circuito aberto. Depois, liga o interruptor e regista as observações no que se refere ao desvio (ou não) da agulha magnética. Por fim, interrompe o circuito e verifica o que acontece à agulha, se ela retoma ou não a orientação inicial.

- 2- Verificação experimental de que o sentido em que a agulha magnética roda depende do sentido da corrente elétrica no fio condutor.

Cada um dos grupos, com o circuito aberto, coloca agora a porção do fio condutor que entra no pólo negativo de uma pilha numa direção paralela à linha N-S da agulha. Depois, liga o interruptor e regista as observações no que se refere ao desvio (ou não) da agulha magnética. Por fim, interrompe o circuito e verifica o que acontece à agulha, se ela retoma ou não a orientação inicial.

- 3- Identificação de um campo magnético pela sua ação sobre uma agulha magnética, que se manifesta através de forças magnéticas, e interpretação do desvio que uma agulha magnética sofre quando colocada paralelamente a uma corrente estacionária.

Porque a agulha magnética sofre um desvio? Cada um dos grupos deve deduzir que a agulha sofre um desvio porque sobre ela atua uma força, devida à interação entre a corrente elétrica e a agulha magnética (estas não se tocam), e um momento da força. Para isso a agulha deve estar num outro campo, para além do campo magnético da terra e do campo gravítico da terra. Qual a origem desse campo? Esse campo é criado pela corrente que atravessa o fio com intensidade constante e é um campo magnético. Assim, esse campo magnético vai atuar sobre a agulha magnética. Cada um dos grupos pode verificar o valor constante da corrente elétrica colocando um amperímetro em série com o circuito. Porque a agulha retoma a orientação inicial, quando se interrompe o circuito? A agulha volta a estar sujeita apenas a um campo magnético, o terrestre.

- 4- Caracterização do campo magnético criado por uma corrente elétrica estacionária.

Cada um dos grupos é solicitado a representar esquematicamente o circuito elétrico, no caderno escolar, e a indicar o sentido da corrente elétrica, para cada um dos casos.

Cada um dos grupos é solicitado a representar, no caderno escolar e para cada um dos casos anteriores, o campo magnético terrestre (recordar que as linhas do campo magnético entram sempre pelo pólo sul e saem pelo pólo norte), o campo magnético criado pela corrente elétrica e o campo magnético resultante. Para que cada grupo caracterize o sentido do campo magnético criado por uma corrente elétrica, através da representação das linhas de campo, o professor apresenta três regras para o efeito (regra do observador de Ampère, a regra da mão direita, e a regra do saca-rolhas de Maxwell).

Depois, cada um dos grupos representa também, para cada um dos casos, as forças que atuam sobre a agulha magnética.

- 5- Verificação de que uma corrente elétrica estacionária não faz rodar uma agulha magnética colocada perpendicularmente a ela.

Cada um dos grupos coloca a porção do fio condutor que sai do pólo positivo da pilha numa direção perpendicular à linha N-S da agulha, com o circuito aberto. Depois, liga o interruptor e regista as observações no que se refere ao desvio (ou não) da agulha magnética.

- 6- Interpretação do não desvio de uma agulha magnética quando colocada perpendicularmente a um fio condutor.

Cada um dos grupos é solicitado a representar, no caderno escolar, o campo magnético terrestre (recordar que as linhas do campo magnético entram sempre pelo pólo sul e saem pelo pólo norte) e o campo magnético criado pela corrente elétrica. Como ambos têm a mesma direção a agulha magnética não roda, isto é, não sofre um torque.

- 7- Conclusão sobre os resultados experimentais.

Os alunos deverão retirar da atividade experimental a principal conclusão da experiência de Oersted: uma corrente elétrica contínua num fio condutor origina um campo magnético que faz rodar uma agulha magnética colocada por debaixo dele e paralela a ele.

Avaliação: Avaliação observacional contínua.

Planificação de Aula 2 (A Lei de Faraday, com Recurso a uma Bobina, um Galvanómetro e um Íman em Barra)

Nível de Escolaridade: 11.º Ano

Disciplina: Física e Química A

Espaço: Laboratório de Física

Duração: 60 minutos

Conteúdos e Objetivos Gerais e Específicos:

<div style="text-align: center;">Objetivos</div> <div style="text-align: center;">Conteúdos</div>	Domínio Cognitivo	
	Gerais	Específicos
<ul style="list-style-type: none"> • Força eletromotriz induzida. • Fluxo do campo magnético • Lei de Faraday. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender a polaridade da extremidade de uma bobina. • Aplicar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Indicar a polaridade da extremidade de uma bobina. • Indicar a polaridade da força eletromotriz induzida numa bobina. • Representar as linhas de campo criadas por um íman. • Indicar as situações em que surge a indução eletromagnética. • Deduzir experimentalmente a Lei de Faraday. • Verificar que a corrente elétrica induzida num circuito pode ser obtida por movimento relativo entre um condutor e uma fonte de campo magnético.

Recursos Pedagógicos:

- Guião para a atividade laboratorial
- Pilha seca (4,5V)
- Agulha magnética
- Interruptor
- Íman em forma de barra
- Uma bobina de 200 espiras
- Um galvanómetro sensível
- Fios de ligação

Atuação Pedagógica:

Instrumento	Tempo (minutos)	Atuação Pedagógica
	5	<p>Preparação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicar os objetivos aos alunos. • Recordar os conteúdos das aulas anteriores.
<p>Introdução Teórica</p> <p>Atividade Laboratorial</p> <p>Questões Pós-Laboratoriais</p>	<p>10</p> <p>25</p> <p>20</p>	<p>Desempenho:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Introdução teórica à experiência de Faraday da bobina e do íman. • Formar pequenos grupos para a realização da atividade laboratorial. • Distribuir os grupos pelas mesas de trabalho onde se encontra o material necessário. • Distribuir pelos grupos o guião da atividade laboratorial. • Estimular a realização da atividade laboratorial. • Solicitar a resolução das questões pós-laboratoriais relacionadas com a atividade laboratorial. <p>Avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação observacional contínua.

Metodologia:

1. Indicação da polaridade das extremidades de uma bobina.

Começamos por elencar os objetivos da atividade experimental e recordar aulas anteriores, onde abordámos o valor do fluxo magnético através de uma espira e de uma bobina com N espiras. Depois dividimos os alunos em grupos na sala laboratorial.

Cada um dos grupos começa por fazer a montagem para a experiência. Com o circuito fechado e observando o sentido do desvio da agulha magnética e da agulha do galvanómetro, cada um dos grupos pode retirar conclusões sobre a polaridade das extremidades da bobina. A posição dos pólos magnéticos dependerá do sentido da corrente elétrica e do sentido do enrolamento do fio.

2. Análise do sentido da corrente elétrica induzida numa bobina.

Cada um dos grupos começa por fazer a montagem para a atividade experimental. Ao aproximar o pólo norte de um íman em barra do interior de uma bobina de 200 espiras (e deve aproximá-lo na horizontal e a uma velocidade constante), com os terminais ligados a um galvanómetro, é induzido um campo elétrico na bobina, uma força eletromotriz, e, em simultâneo, uma corrente elétrica cujo sentido é determinado pelo desvio da agulha do galvanómetro. Em seguida, detém o íman e verifica se foi ou não induzida uma força eletromotriz no circuito. Por fim, afasta o íman da bobina, à mesma velocidade, e, de acordo com o sentido do desvio da agulha, retira ilações sobre o sentido da corrente elétrica induzida no circuito e a polaridade da força eletromotriz induzida.

3. Caracterização qualitativa da grandeza campo magnético num ponto, a partir da representação de linhas de campo, quando a origem é um íman.

Depois de realizada a primeira experiência, solicitamos a cada um dos grupos que represente as linhas de campo criadas pelo íman em barra no caderno escolar.

4. Verificação experimental de que a corrente elétrica induzida num circuito pode ser obtida por um movimento relativo entre um condutor e uma fonte de um campo magnético.

Na última parte da experiência, cada um dos grupos, mantendo o íman fixo, introduz a bobina de 200 espiras no seu interior e verifica, pelo desvio da agulha do galvanómetro, se houve indução de uma força eletromotriz na bobina, e, conseqüentemente, uma corrente elétrica induzida no circuito. Assim, pode concluir que a força eletromotriz de movimento induzida (por ação inicial da força de Lorentz sobre as cargas da bobina) também se obtém por movimento da bobina.

Avaliação: Avaliação observacional contínua

Planificação de Aula 3 (A Lei de Faraday, com Recurso a um Gerador Eletromagnético de Faraday e a um Anel de muitas Espiras)

Nível de Escolaridade: 11.º Ano

Disciplina: Física e Química A

Espaço: Laboratório de Física

Duração: 60 minutos

Conteúdos e Objetivos Gerais e Específicos:

<div style="text-align: center;">Objetivos</div> <div style="text-align: center;">Domínio Cognitivo</div>		
	Gerais	Específicos
Conteúdos		
<ul style="list-style-type: none"> • Força eletromotriz de uma pilha. • Indução eletromagnética. 	<ul style="list-style-type: none"> • Criar um indicador de polaridade da força eletromotriz de uma fonte. • Aplicar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construir um indicador de polaridade da força eletromotriz de uma fonte. • Verificar experimentalmente a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. • Verificar a corrente elétrica induzida num anel de muitas espiras. • Examinar alguns fatores que determinam a força eletromotriz induzida num anel de muitas espiras (ângulo da normal à superfície com o campo magnético).

Recursos Pedagógicos:

- *Gerador eletromagnético de Faraday* (dois ímãs de neodímio, um tubo de plástico transparente e uma bobina).
- *Indicador de força eletromotriz induzida* (Um LED verde e um vermelho em antiparalelo).
- Resistência de 22Ω
- Resistência de 2Ω
- Pilha seca de 4,5V
- Guião para a atividade laboratorial

esclarecendo noções como a de polaridade direta e inversa de um díodo, recordando aos alunos os enunciados da lei de Faraday e da lei de Lenz e distribuindo, por cada um dos grupos, um guião com as linhas da atividade laboratorial a realizar.

O *indicador de força eletromotriz* é ligado aos terminais de uma pilha. Conforme o LED que se acenda – a sua polarização –, ligando uma resistência ao pólo positivo da pilha e, depois, ao pólo negativo, cada um dos grupos retira as suas conclusões sobre o sentido da corrente elétrica.

2. Verificação experimental da lei de Faraday e da lei de Lenz.

Para a verificação experimental da lei de Faraday e da lei de Lenz é necessário um *indicador de força eletromotriz induzida* e um *gerador eletromagnético de Faraday*. Conforme o LED que se acenda na aproximação e no afastamento do íman da bobina, cada um dos grupos retira ilações sobre o sentido da corrente induzida na bobina e o sentido do campo magnético, criado por esta corrente, cuja variação do fluxo através da bobina se oporá à variação do fluxo do campo magnético criado pelo íman.

3. Verificação da corrente elétrica induzida aos terminais de um anel de muitas espiras ligado a um galvanómetro e investigação de alguns fatores que determinam a força eletromotriz induzida num anel de muitas espiras (ângulo que o campo magnético faz com a normal).

Cada um dos grupos liga as extremidades de um anel de muitas espiras aos terminais de um galvanómetro. Depois, roda o anel com a área de seção perpendicular às linhas de força do campo magnético terrestre e verifica o sentido do desvio da agulha do galvanómetro e o seu significado.

Planificação de Aula 4 (A Lei de Faraday, com Recurso a um Osciloscópio)

Nível de Escolaridade: 11.º Ano

Disciplina: Física e Química A

Espaço: Laboratório de Física

Duração: 90 minutos

Conteúdos e Objetivos Gerais e Específicos:

<div style="text-align: center;">Objetivos</div> <div style="text-align: center;">Conteúdos</div>	Domínio Cognitivo	
	Gerais	Específicos
<ul style="list-style-type: none"> • Força eletromotriz de uma pilha. • Lei de Faraday. • Lei de Lenz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Compreender a noção de força eletromotriz de uma pilha. • Aplicar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. 	<ul style="list-style-type: none"> • Medir num osciloscópio a força eletromotriz de uma pilha. • Medir num osciloscópio a força eletromotriz induzida numa bobina por um íman em barra. • Medir num osciloscópio a força eletromotriz induzida numa bobina por um circuito com um gerador de sinais. • Examinar alguns fatores que determinam a força eletromotriz induzida (número de espiras e frequência de um sinal).

Recursos Pedagógicos:

- Gerador de sinais ou funções
- Osciloscópio
- Bobinas (800, 400 e 200 espiras)
- Fios de ligação
- Amperímetro de corrente alternada
- Pilha seca de 4,5 V
- Íman em barra
- Guião para a atividade laboratorial

Atuação Pedagógica:

Instrumento	Tempo (minutos)	Atuação Pedagógica
	5	<p>Preparação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicar os objetivos aos alunos. • Recordar os conteúdos das aulas anteriores.
<p>Introdução Teórica</p> <p>Atividade Laboratorial</p> <p>Questões Pós-Laboratoriais</p>	<p>15</p> <p>45</p> <p>25</p>	<p>Desempenho:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizar uma introdução teórica à atividade experimental para explicar o funcionamento de um osciloscópio de raios catódicos. • Distribuir pelos alunos o guião da atividade laboratorial. • Estimular a realização da atividade laboratorial. • Solicitar a resolução das questões pós-laboratoriais da atividade laboratorial. <p>Avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação observacional contínua.

Metodologia:

1. Medição num osciloscópio da força eletromotriz aos terminais de uma pilha seca.

Depois de pronunciarmos os objetivos da atividade, distribuímos pelos alunos uma folha relativa ao trabalho laboratorial.

Realizamos, de seguida, uma breve elocução sobre os princípios fundamentais do funcionamento de um osciloscópio, das funções dos botões do seu painel e recordamos a lei de Faraday e a lei de Lenz. De seguida e sempre como orientadores da atividade laboratorial, vamos envolvendo os alunos na sua realização (é suposto existir na sala de aula um só osciloscópio). Primeiro, ligam a entrada CH1 X do osciloscópio aos terminais da pilha seca, e, depois, medem a força eletromotriz da mesma, sem a base de tempo.

2. Medição num osciloscópio da força eletromotriz induzida numa bobina por um íman em barra e verificação da polaridade da força eletromotriz induzida por aproximação e afastamento dos pólos de um íman.

Na segunda parte da atividade, o aluno tem de ligar a entrada CH1 X aos terminais de uma bobina, e, sem a base de tempo, aproximar e afastar os pólos de um íman em barra do interior da bobina. As flutuações da linha horizontal no osciloscópio permitem ao aluno tirar ilações sobre a polaridade da força eletromotriz induzida na bobina consoante o pólo do íman que se aproxima da bobina.

Substituindo a bobina por bobinas com um número crescente de espiras, o aluno pode relacionar o módulo da força eletromotriz induzida na bobina com o número de espiras.

3. Medição num osciloscópio da força eletromotriz induzida numa bobina por um circuito com um gerador de sinais.

Na terceira parte da atividade, o aluno tem de usar como circuito indutor uma bobina, ligada em série a um amperímetro de corrente alternada e a um gerador de sinais, e, como circuito induzido uma bobina ligada aos terminais da ponta de prova do osciloscópio, para observar a função sinusoidal da força eletromotriz induzida em função do tempo e determinar a sua amplitude.

Nesta atividade, o aluno verifica também como a força eletromotriz induzida varia com o aumento da frequência do sinal indutor, aumentando a frequência do sinal indutor e mantendo constante a intensidade máxima de corrente.

Avaliação: Avaliação observacional contínua

Planificação de Aula 5 (A Lei de Faraday, com Recurso ao Programa *DataStudio* da *PASCO*)

Nível de Escolaridade: 11.º Ano

Disciplina: Física e Química A

Espaço: Laboratório de Física

Duração: 90 minutos

Conteúdos e Objetivos Gerais e Específicos:

Objetivos Conteúdos	Domínio Cognitivo	
	Gerais	Específicos
<ul style="list-style-type: none"> • Fluxo do campo magnético e variação temporal do fluxo. • Força eletromotriz induzida. • Lei de Faraday. 	<ul style="list-style-type: none"> • Analisar gráficos da posição em função do tempo. • Analisar gráficos da força eletromotriz induzida em função do tempo. • Analisar a dependência entre a força eletromotriz induzida e o tempo de indução. 	<ul style="list-style-type: none"> • Calcular a velocidade de um carrinho, através do gráfico da posição em função do tempo. • Deduzir o significado físico da área sob o gráfico da força eletromotriz induzida em função do tempo. • Comparar gráficos da força eletromotriz induzida e da posição em função do tempo. • Distinguir gráficos da força eletromotriz induzida e da posição em função do tempo.

Recursos Pedagógicos:

- Guião para a atividade laboratorial
- Folha de cálculo do Excel
- Equipamento da PASCO
- Sensor de movimento ultrassónico
- Sensor de tensão
- Interface
- Programa DataStudio

- 6 ímanes cilíndrico de neodímio
- Calha e carrinho
- Bobina de Helmholtz

Atuação Pedagógica:

Instrumento	Tempo (minutos)	Atuação Pedagógica
	5	<p>Preparação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicar os objetivos aos alunos. • Recordar os conteúdos das aulas anteriores.
<p>Questionário Pré-Laboratorial</p> <p>Atividade Laboratorial</p>	<p>10</p> <p>75</p>	<p>Desempenho:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar aos alunos duas questões sobre a Lei de Faraday. • Formar pequenos grupos para a realização da atividade laboratorial. • Distribuir pelos alunos o guião da atividade laboratorial. • Estimular a realização da atividade laboratorial. • Resolver as questões laboratoriais. <p>Avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação observacional contínua. • Avaliação produto (relatório).

Metodologia:

1. Análise de gráficos da posição em função do tempo.

Começamos por elencar os objetivos da atividade experimental e recordar aulas anteriores, sobre a lei de Faraday e a lei de Lenz. Depois, distribuímos, por cada aluno, o guião da atividade experimental, e solicitamos aos mesmos a formação de grupos de trabalho.

Depois da obtenção, no programa DataStudio, dos gráficos da posição em função do tempo para as duas situações (carrinho lançado com uma força de impulsão menor e maior), solicitamos a cada um dos grupos que caracterize o tipo de movimento do carrinho, indique as forças que atuam no sistema (carrinho + magnete) e determine o módulo da sua velocidade durante a indução eletromagnética (isto pode ser feito também no Excel, através da regressão linear e analisando o coeficiente angular e o coeficiente de correlação).

2. Análise de gráficos da força eletromotriz induzida em função do tempo.

Perante os gráficos da variação temporal da força eletromotriz induzida, solicitamos a cada um dos grupos que explique como varia a força eletromotriz induzida com o tempo e que indique o módulo da força eletromotriz máxima induzida na bobina, para as duas situações. Cada um dos grupos deverá também enunciar o significado físico da área sob uma curva e deduzir que o seu módulo representa a variação do módulo do fluxo magnético através das N espiras da bobina, durante o intervalo de tempo em questão:

$$|\varepsilon \times \Delta t| = |N \times \Delta \phi|$$

Solicitamos, também, a cada um dos grupos que represente, qualitativa e graficamente, a variação temporal do fluxo magnético, assim poderá aplicar a lei de Faraday, a lei de Lenz e verificar a polaridade da força eletromotriz induzida no circuito, durante a aproximação e afastamento do íman da bobina.

3. Análise da dependência da força eletromotriz induzida do tempo.

Comparando os gráficos da posição em função do tempo e da força eletromotriz induzida em função do tempo, cada um dos grupos pode deduzir que o módulo da força eletromotriz induzida na bobina é inversamente proporcional ao intervalo de tempo da indução eletromagnética (logo, diretamente proporcional à velocidade de deslocamento do sistema indutor). Deste modo, pode verificar experimentalmente uma das premissas da lei de Faraday.

Por fim, cada aluno tem de realizar o relatório da atividade.

Avaliação: Avaliação observacional contínua.

Avaliação produto (relatório).

Planificação de Aula 6 (Correntes de Redemoinho ou Correntes de Foucault)

Nível de Escolaridade: 11.º Ano

Disciplina: Física e Química A

Espaço: Laboratório de Física

Duração: 90 minutos

Conteúdos e Objetivos Gerais e Específicos:

<div style="text-align: center;">Objetivos</div> <div style="text-align: center;">Conteúdos</div>	Domínio Cognitivo	
	Gerais	Específicos
<ul style="list-style-type: none"> • Correntes de Foucault • Fluxo do campo magnético • Força eletromotriz induzida (Lei de Faraday e Lei de Lenz) • Aplicações das correntes de Foucault 	<ul style="list-style-type: none"> • Reconhecer as condições para a produção de correntes de Foucault. • Aplicar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. • Avaliar possíveis aplicações das correntes de Foucault. 	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar situações em que surgem correntes de Foucault por indução eletromagnética. • Interpretar a Lei de Faraday e a Lei de Lenz. • Deduzir possíveis aplicações das correntes de Foucault.

Recursos Pedagógicos:

- Guião da atividade laboratorial.
- Dois ímanes de neodímio.
- Três suportes universais com garras.
- Peça retangular de alumínio maciço.
- Peça retangular de alumínio em pente.
- Máquina de calcular da *Texas Instruments*.
- CBR2™ (Calculator-Based Ranger™) com sensor de movimento ultrassónico.

Atuação Pedagógica:

Instrumento	Tempo (minutos)	Atuação Pedagógica
	5	<p>Preparação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Comunicar os objetivos aos alunos. • Recordar os conteúdos das aulas anteriores.
<p>Questionário Pré-Laboratorial</p> <p>Atividade Laboratorial</p> <p>Debate</p>	<p>20</p> <p>50</p> <p>15</p>	<p>Desempenho:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Colocar aos alunos algumas questões sobre o movimento harmónico simples de um pêndulo gravítico. • Colocar aos alunos uma questão-problema sobre a indução eletromagnética e as correntes de Foucault. <ul style="list-style-type: none"> • Formar pequenos grupos para a realização da atividade laboratorial. • Distribuir pelos alunos o guião da atividade laboratorial. • Estimular a realização da atividade laboratorial. • Resolver as questões pós-laboratoriais. <ul style="list-style-type: none"> • Debater com os alunos algumas das aplicações das correntes de Foucault. <p>Avaliação:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Avaliação observacional contínua.

Metodologia:

1. Reconhecimento das condições para a produção de correntes de Foucault.

Quando um pêndulo com uma peça metálica de alumínio oscila num campo magnético, criado por ímãs de neodímio, as suas oscilações são amortecidas (diminuem de amplitude). O amortecimento é devido à força magnética que atua na peça metálica, opondo-se ao movimento da mesma. Esta força, por sua vez, resulta da indução de correntes elétricas circulares na peça metálica condutora, num campo magnético, por variação do fluxo magnético. Usando a máquina de calcular *Texas Instruments* e a aplicação *EasyData*, cada um dos grupos pode, por meio dos gráficos da posição da peça metálica oscilante (maciça ou gretada) em função do tempo, na presença e na ausência de um campo magnético, verificar o amortecimento (ou não) das oscilações. Também pode comparar o amortecimento da peça de alumínio gretada e da maciça, num campo magnético, em relação à resistência de ambas as peças e ao módulo das forças eletromotrizes induzidas nelas.

2. Avaliação de possíveis aplicações das correntes de Foucault.

Os alunos são envolvidos num debate sobre as aplicações das correntes de Foucault, como, por exemplo, as que derivam do efeito de Joule.

18. Atividades Laboratoriais sobre a Experiência de Oersted e a Experiência de Faraday

Tendo em consideração os ensinamentos didático-pedagógicos de Rómulo de Carvalho e o uso das novas tecnologias no ensino, propomos seis atividades laboratoriais, que podem ser levadas a cabo por um professor de Física no 11.º Ano de escolaridade, com a respetiva metodologia de ensino. O artigo *A Física como objeto de ensino*, onde Rómulo de Carvalho faz a distinção entre método, processo, forma e modo, foi-nos, aqui, muito útil. Por exemplo, na experiência de Oersted propomos o uso do método indutivo, do processo experimental e da forma ativa (os alunos realizam a tarefa sob a supervisão do professor).

18.1 Atividade Laboratorial 1: A Experiência de Oersted

Introdução: A terra comporta-se como um ímã ciclópico e permanente (fig.170), de modo que uma agulha magnética se orienta sempre numa direção, quando colocada em diversos pontos. Designamos por pólo norte de uma agulha magnética a extremidade que aponta, aproximadamente, no sentido do norte geográfico; por sua vez, designamos por pólo sul de uma agulha magnética a extremidade que aponta, aproximadamente, para o sul geográfico. Colocando uma bússola por debaixo e paralela a um fio condutor longo e retilíneo que passa pelo ponto C (com a corrente no sentido de \vec{B}_T), a agulha adquire uma posição resultante do campo magnético terrestre \vec{B}_T e do campo magnético \vec{B} criado pela corrente que atravessa o fio (os pólos da agulha ficam sujeitos a uma força que origina um torque) (Sá, Maria de, 1999). Antes de passar a corrente, a linha N-S da agulha é paralela ao fio condutor. Ao passar a corrente, esta cria um campo magnético \vec{B} tangente às linhas de campo, isto é, perpendicular a \vec{B}_T , e a agulha sofre um desvio (fig.171).

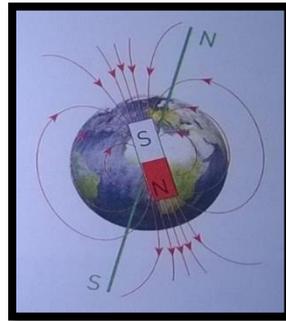


Figura 170: Os pólos magnéticos e os pólos geográficos da Terra. A diferença angular entre o norte magnético e o geográfico é a declinação magnética.

(Fonte: Bello, Adelaide & Helena Caldeira, 2004)

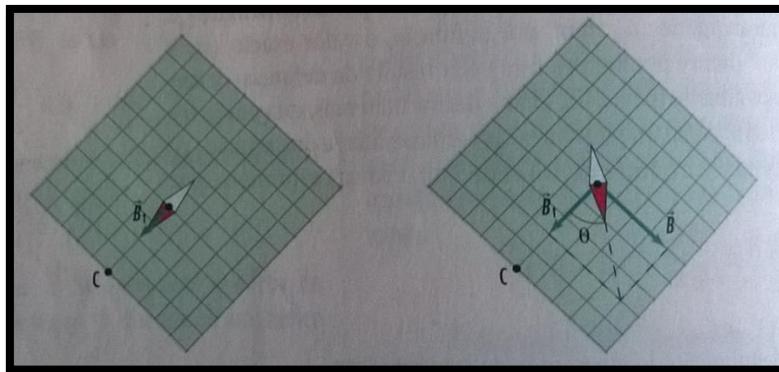


Figura 171: Campo magnético terrestre e campo magnético criado por uma corrente elétrica.

(Fonte: Sá, Maria de, 1999)

Questões Pré-Laboratoriais:

1. Se aproximares o pólo norte de um ímã do pólo norte de uma bússola o que observarás? E se aproximares o pólo sul? Explica, considerando a orientação do campo magnético terrestre e do campo magnético criado pelo ímã.
2. À semelhança dos ímanes, as correntes elétricas atuarão sobre uma bússola, como suspeitara o físico dinamarquês Hans Christian Oersted, antes de 1820?

Guião Para a Atividade Laboratorial 1

Objetivo: Compreender que uma corrente elétrica contínua origina um campo magnético à semelhança de um ímã.

Material:

- Pilha de 4,5 V
- Agulha magnética
- Dois fios longos de ligação de cobre
- Interruptor de pressão
- Íman em barra

Procedimento:

- Aproxima o pólo norte de um íman de uma agulha magnética e verifica em que sentido roda a agulha magnética (fig.172).



Figura 172

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Aproxima o pólo sul de um íman de uma agulha magnética e verifica em que sentido roda a agulha magnética (fig.173).



Figura 173

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Faz uma montagem como a da figura 174, num lugar onde não haja próximo ímanes nem materiais de ferro. Coloca a porção do fio condutor que sai do pólo positivo da fonte de alimentação numa direção paralela à linha N-S da agulha e por de cima desta última (fig.174).

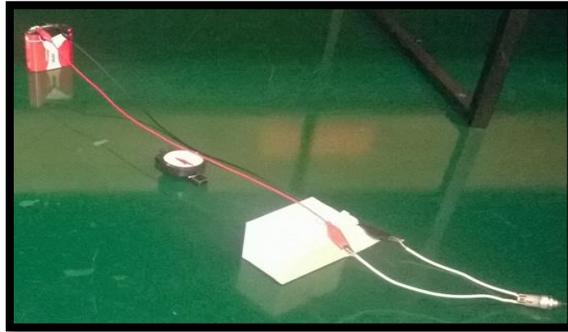


Figura 174

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Liga o interruptor de modo a circular uma corrente elétrica.
- Regista as tuas observações, no que se refere ao desvio da agulha.
- Interrompe a corrente no circuito elétrico, desligando o interruptor, e verifica o que acontece à agulha.
- Coloca, agora, a porção do fio condutor que entra no pólo negativo da fonte de alimentação numa direção paralela à linha N-S da agulha e por de cima desta última (fig.175).

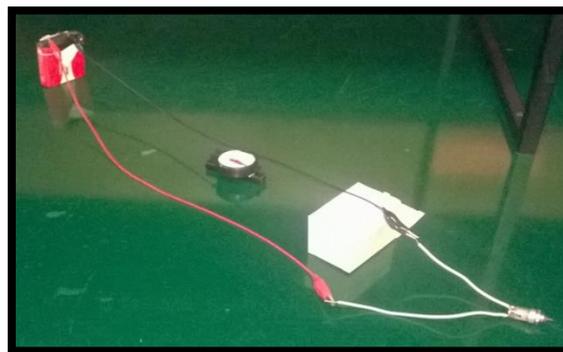


Figura 175

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Liga o interruptor de modo a circular uma corrente elétrica.
- Regista as tuas observações, no que se refere ao desvio da agulha.

- Interrompe a corrente no circuito elétrico, desligando o interruptor, e verifica o que acontece à agulha.
- Representa, no teu caderno, os esquemas dos circuitos elétricos e o sentido da corrente elétrica em cada um dos casos anteriores.
- Representa, no teu caderno, o sentido do campo magnético criado pela corrente elétrica e pela Terra, e o campo magnético resultante, para os dois casos anteriores.
- Representa as forças que atuam na agulha magnética, nos dois casos.
- Coloca a porção do fio condutor que sai do pólo positivo da fonte de alimentação numa direção perpendicular à linha N-S da agulha (fig.176).

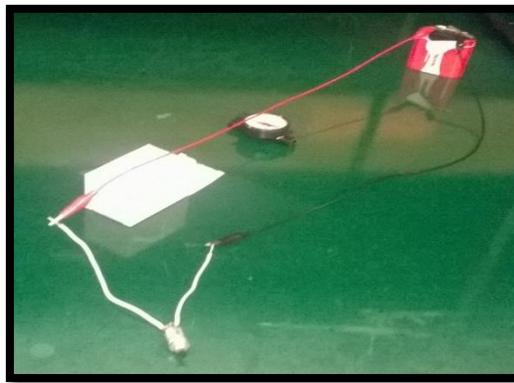


Figura 176

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Liga o interruptor de modo a circular uma corrente elétrica.
- Regista as tuas observações, no que se refere ao desvio (ou não) da agulha.
- Interrompe a corrente no circuito elétrico, desligando o interruptor.
- Que conclusões retiras da atividade experimental.

Questões Pós-laboratoriais:

- 1- Explica a razão de o pólo norte da agulha magnética sofrer um desvio para leste, quando, no fio retilíneo e paralelo à orientação da agulha magnética, a corrente elétrica sai do pólo positivo da pilha.

- 2- Qual a origem do campo magnético responsável pelo desvio da agulha? Caracteriza-o (num determinado ponto da agulha), desenhando-o. Usa a regra do observador de Ampère (fig.177): colocação de um observador imaginário paralelamente ao fio condutor, com a cabeça no sentido da corrente elétrica e o olhar posto no fio condutor. Para este observador as linhas do campo magnético orientam-se sempre da sua direita para a sua esquerda). (nota: podes usar também a lei de Biot-Savart).

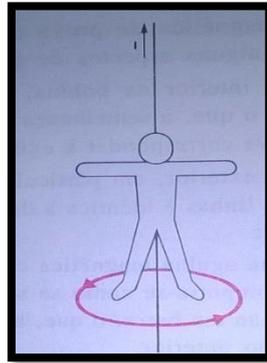


Figura 177

(Fonte: Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho, 1982)

- 3- Representa as forças que atuam na agulha magnética, quando esta é desviada.
- 4- Explica a razão de o pólo norte da agulha magnética sofrer um desvio para oeste, quando, no fio retilíneo e paralelo à orientação da agulha magnética, a corrente elétrica entra no pólo negativo da pilha.
- 5- Explica a razão de a agulha magnética não sofrer desvio, quando a corrente elétrica no fio retilíneo e condutor é perpendicular à orientação da agulha magnética.
- 6- Se a agulha magnética estivesse colocada paralelamente e sobre o fio condutor retilíneo, em vez de estar por debaixo dele, qual seria o sentido do desvio do pólo norte da agulha com a corrente a entrar na extremidade sul do fio? E com a corrente a entrar na extremidade norte do fio? Usa a regra de Ampère (fig.178).

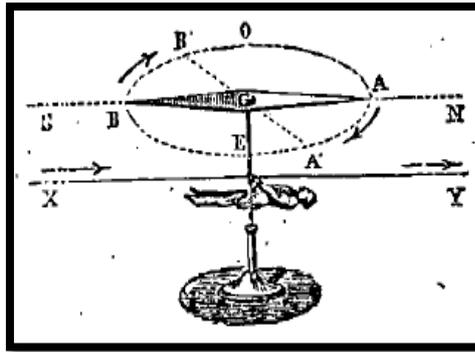


Figura 178: Observador de Ampère.

(Fonte: Demoulin, Gustave, 1888)

- 7- Se o fio condutor estivesse na vertical e passasse próximo do lado direito do pólo sul de uma agulha magnética (fig.179), qual seria o sentido do desvio do pólo sul da agulha magnética, com a corrente em sentido descendente? E se o fio passasse próximo do lado esquerdo do pólo sul da agulha magnética, nas mesmas condições?



Figura 179

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- 8- Se o fio condutor estivesse na vertical e diante do pólo norte de uma agulha magnética (fig.180), qual seria o sentido do desvio do pólo norte da agulha magnética, com a corrente em sentido ascendente? E se o fio estivesse diante do pólo sul da agulha magnética, nas mesmas condições, qual seria o desvio do pólo sul da agulha magnética (fig.181)? Usa a regra do observador de Ampère (fig.182).



Figura 180



Figura 181

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

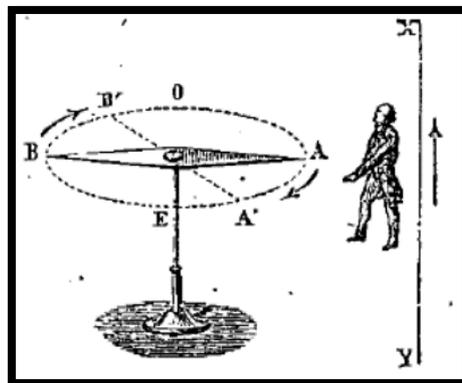


Figura 182: Observador de Ampère.

(Fonte da Figura 11: Demoulin, Gustave, 1888)

18.2 Atividade Laboratorial 2 – A Lei de Faraday (com Recurso a uma Bobina, um Galvanómetro e um Íman em Barra)

Introdução teórica: Ao introduzirmos um íman em barra no interior de uma bobina, ligada aos terminais de um galvanómetro por meio de fios de ligação (fig.183), é induzida uma força eletromotriz, e, conseqüentemente, uma corrente elétrica que se pode medir num galvanómetro. O módulo da força eletromotriz induzida no circuito, atravessado por um fluxo magnético variável, é diretamente proporcional à variação do fluxo magnético e inversamente proporcional ao intervalo de tempo durante o qual decorre essa variação.

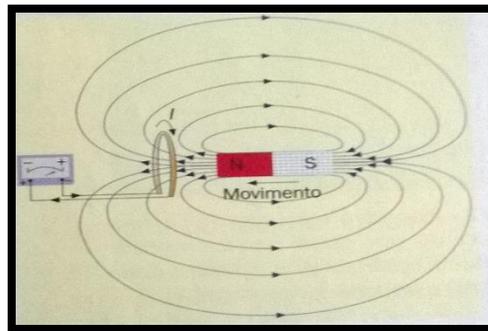


Figura 183

(Fonte: Rodrigues, M. Margarida & Fernando Morão Lopes Dias, 2004)

Os resultados da experiência descrita anteriormente foram descobertos por Michael Faraday.

Guião Para a Atividade Laboratorial 2

Objetivo: Verificar experimentalmente a lei de Faraday e a lei de Lenz

Material:

- Pilha seca (4,5V)
- Agulha magnética
- Interruptor
- Íman em forma de barra

- Uma bobina de 200 espiras
- Um galvanómetro sensível
- Fios de ligação

Procedimento:

A) Polaridade da extremidade de uma bobina

- Instala um circuito, ligando em série uma pilha seca, uma bobina de 200 espiras, um galvanómetro e um interruptor (fig.184).



Figura 184

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Aproxima uma agulha magnética de uma das extremidades da bobina.
- Fecha o circuito, com o interruptor, e regista o sentido do desvio da agulha do galvanómetro e da agulha magnética.
- Repete a experiência anterior invertendo os pólos da pilha seca.
- Relaciona, para os dois casos, a polaridade da extremidade da bobina com o sentido da corrente no circuito.

B) Sentido da corrente eléctrica induzida numa bobina

- Retira do circuito a pilha seca e o interruptor.

- Estabelece um circuito elétrico ligando os terminais do galvanómetro aos da bobina de 200 espiras (fig.185).

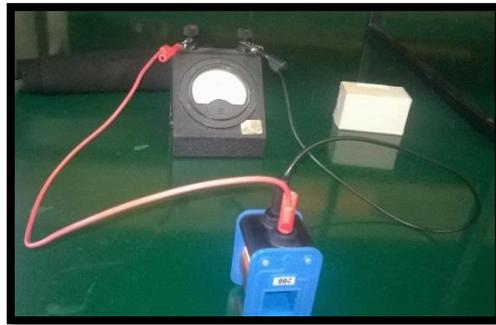


Figura 185

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Aproxima o pólo norte do íman até que penetre no interior da bobina, e, depois, para-o.
- Regista na tabela 8 o sentido do desvio da agulha do galvanómetro durante a aproximação do íman.
- Afasta, à mesma velocidade, o íman do interior da bobina.
- Regista o sentido do desvio da agulha do galvanómetro.
- Regista no caderno as conclusões que retiras relativamente ao sentido do desvio da agulha do galvanómetro, para a aproximação e afastamento do íman.

Experiência1	Bobina 200 espiras (aproximação do pólo norte do íman)	Bobina de 200 espiras (paragem do íman)	Bobina de 200 espiras (afastamento do pólo norte do íman)
Desvio da agulha			

Tabela 8

- Mantém agora o íman fixo, sobre uma base, e aproxima do seu pólo norte o interior da bobina de 200 espiras (fig.186).

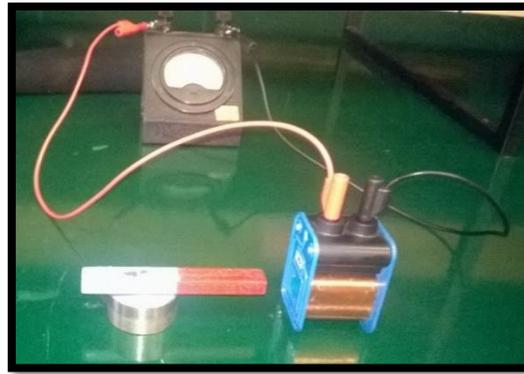


Figura 186

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Regista na tabela 9 o sentido do desvio da agulha do galvanómetro na aproximação do íman.

Experiência3 (pólo norte)	Bobina de 200 espiras (aproximação da bobina do pólo norte do íman)
Desvio da agulha	

Tabela 9

Questões Pós-Laboratoriais:

1. Representa, no caderno escolar, as linhas de campo criadas pelo íman em barra.
2. Durante a inversão do sentido do movimento do íman a agulha do galvanómetro passa pelo centro. Explica o que acontece em termos de variação do fluxo magnético e do fluxo magnético através da área de seção da bobina.
3. Indica, recorrendo à lei de Lenz, a polaridade da bobina durante a aproximação e afastamento do pólo norte do íman.

4. Explica, em termos de variação do fluxo magnético, porque, com o íman em repouso, não há indução de uma força eletromotriz na bobina.
5. A corrente elétrica induzida num circuito pode ser obtida por um movimento relativo entre um condutor e uma fonte de um campo magnético? Justifica, recorrendo à lei de Faraday.
6. Considera o circuito da figura 187: um circuito primário (pilha seca e bobina azul em série) e um circuito secundário (bobina cinzenta ligada aos terminais de um multímetro usado como voltímetro). Se se ligar o interruptor, será induzida uma força eletromotriz na bobina cinzenta? Explica, com base na lei de Faraday e na lei de Lenz. E se se desligar o interruptor?

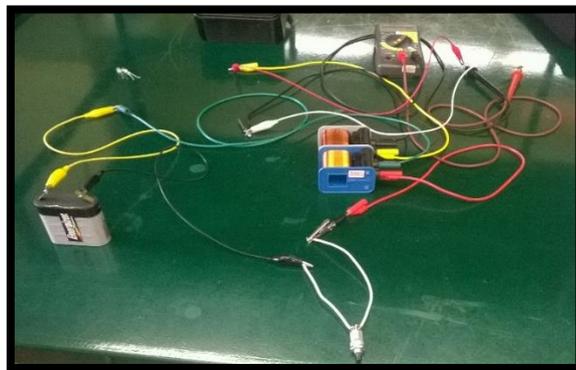


Figura 187

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

7. Considera o circuito da figura 188: circuito primário (pilha seca e bobina em série) e circuito secundário (bobina interior ligada aos terminais de um multímetro usado como voltímetro). Com o circuito primário fechado, se se mover a bobina interior para baixo e para cima, surgirá uma força eletromotriz no circuito de que ela faz parte? Explica, com base na lei de Faraday e na lei de Lenz.

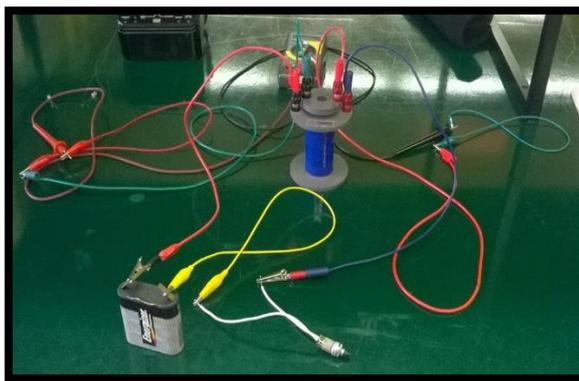


Figura 188

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

18.3 Atividade Laboratorial 3 – A Lei de Faraday (com Recurso a um Gerador Eletromagnético de Faraday e a um Anel de muitas Espiras)

Guião Para a Atividade Laboratorial 3

Introdução:

Um díodo é um dispositivo não-linear porque o gráfico da corrente em função da tensão não é retilíneo, sendo o seu símbolo uma seta que aponta do ânodo para o cátodo. Num circuito, o díodo apresenta polarização direta e polarização inversa. No circuito em baixo (fig.189), o díodo apresenta polarização direta.

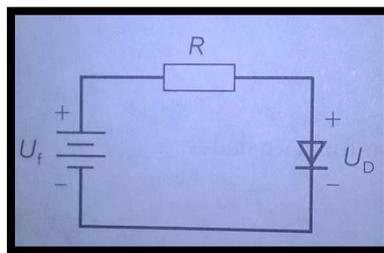


Figura 189: Díodo em polaridade direta.

(Fonte: Malvino, Albert Paul, 2000)

Por que razão a polarização é direta? Porque o pólo positivo da bateria ativa o ânodo do díodo através de uma resistência e o pólo negativo está ligado ao cátodo do díodo. O sentido fácil da circulação da corrente é o da seta que simboliza o díodo.

Existem vários tipos de díodos. Num díodo emissor de luz (LED), há irradiação de luz sempre que a polarização é a direta. Esta irradiação pode ser vermelha, azul, verde, amarela, laranja ou infravermelha.

Com um *gerador eletromagnético de Faraday* (fig.190) (Mayer & Varaksina, E. I., 2017) e um ímã de neodímio é possível realizar várias experiências sobre a lei de Lenz e a lei de Faraday.



Figura 190

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

Num *gerador eletromagnético de Faraday*, conectado a um *circuito indicador de força eletromotriz induzida* (dois LEDs, um verde e um vermelho em antiparalelo) (fig.191 e 192) (Mayer & Varaksina, E. I., 2017), quando o pólo de um ímã de neodímio se move no tubo, ocorre indução eletromagnética. É induzida uma força eletromotriz nos terminais da bobina e uma corrente induzida flui por ela. Se a bobina estiver em circuito aberto, o magnete mover-se-á através dela sujeito apenas à força da gravidade e à força de atrito de deslizamento. Em circuito fechado e com uma resistência ligada a um dos terminais da bobina, uma força oposta à gravidade atua sobre o ímã, quando este se aproxima da bobina. Esta força é causada pela corrente de indução que origina um campo magnético cujo fluxo se opõe ao fluxo magnético criado pelo magnete.

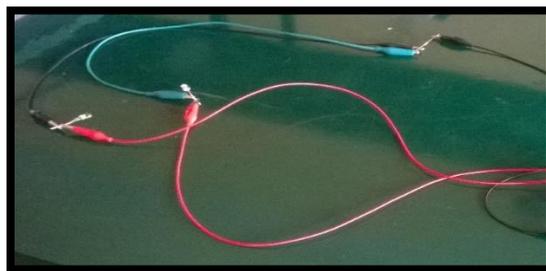


Figura 191

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

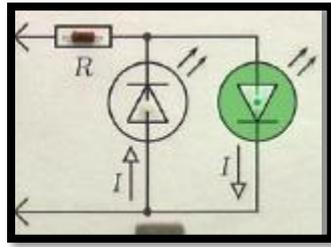


Figura 192

(Mayer & Varaksina, E. I., 2017)

Material:

- *Gerador eletromagnético de Faraday* (dois ímãs de neodímio, um tubo de plástico transparente e uma bobina).
- Um LED verde.
- Um LED vermelho.
- Resistência de 22Ω
- Resistência de 2Ω
- Pilha seca de 4,5V

Procedimento:

A) Criação de um indicador de polaridade da força eletromotriz

- Liga uma resistência de 22Ω (fig.193) ao pólo positivo de uma pilha seca de 4,5 V e o conjunto em série com dois LEDs, um verde e um vermelho em antiparalelo (fig.194).



Figura 193

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Verifica qual dos LEDs se acende (atenção: se os LEDs não estiverem em antiparalelo acender-se-ão ou permanecerão ambos apagados).
- Inverte os pólos e regista as tuas observações.

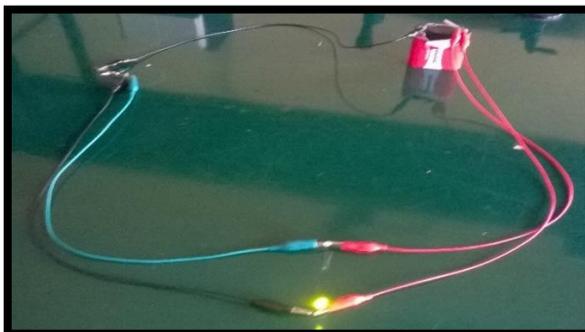


Figura 194

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

B) A força eletromotriz induzida numa bobina

- Verifica qual o pólo norte e qual o pólo sul do íman de neodímio aproximando de uma das extremidades do gerador eletromagnético de Faraday um íman em barra (fig. 195 e 196).



Figura 195

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

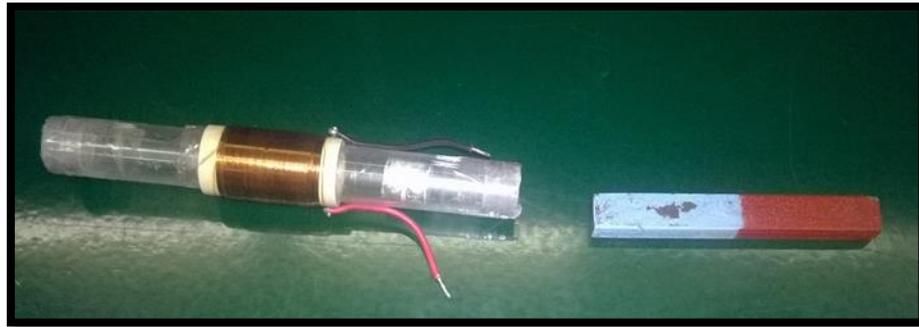


Figura 196

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Liga em série o gerador eletromagnético de Faraday com uma resistência de 2Ω em série com um LED vermelho e com um LED verde em antiparalelo (fig.197).

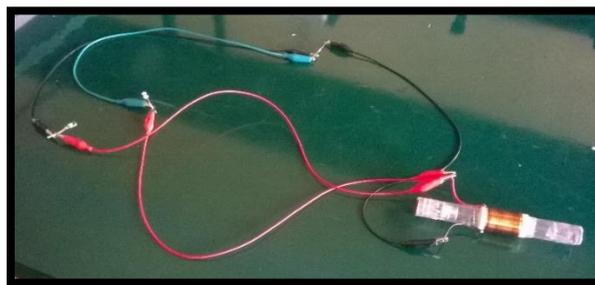


Figura 197

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Roda devagar o tubo de modo que os pólos do íman de neodímio atravessem a bobina (fig.198).



Figura 198

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Regista as tuas observações.
- Explica, com base na lei de Faraday e na lei de Lenz, porque, quando o pólo norte do íman se aproxima da bobina, um LED se acende e, quando se afasta, acende-se o outro.
- Explica, com base na lei de Faraday e na lei de Lenz, porque, quando o pólo sul do íman se aproxima do lado oposto da bobina, um LED se acende e, quando se afasta, acende-se o outro.
- Explica, cada um dos casos anteriores, em termos da energia do íman, da energia interna da bobina e da conservação da energia do sistema.

C) Corrente elétrica induzida num anel de muitas espiras que roda no campo magnético terrestre.

- Liga as extremidades de um anel de muitas espiras aos terminais de um galvanómetro (fig.199).

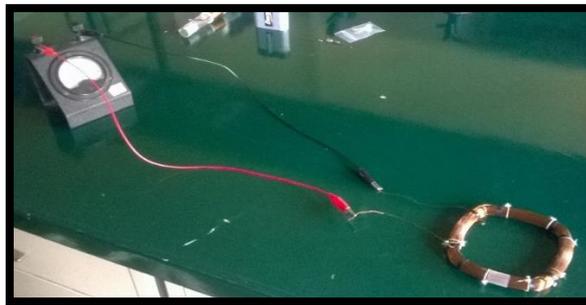


Figura 199

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Roda o anel um quarto de volta para cima e de novo outro quarto de volta para cima, com a área de seção inicialmente perpendicular às linhas de força do campo magnético terrestre, e verifica o sentido do desvio da agulha do galvanómetro.
- Justifica o sentido do desvio da agulha do galvanómetro em função do sentido do campo magnético terrestre, do vetor unitário à área de seção e da variação temporal do fluxo do campo.
- Com a área de seção do anel perpendicular às linhas de força do campo magnético terrestre, prime, com a mão, o anel de muitas espiras, de modo a que colapse, e verifica se a agulha do galvanómetro se desvia ou não.

18.4 Atividade Laboratorial 4 – A Lei de Faraday (com Recurso a um Osciloscópio de Raios Catódicos)

Guião Para a Atividade Laboratorial 4

Introdução teórica:

O osciloscópio de raios catódicos (fig.200) pode ser usado como voltímetro para corrente contínua ou alternada, ligando a diferença de potencial a medir às placas de deflexão vertical: CH1 X ou CH2 Y no painel.



Figura 200

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

No osciloscópio destacam-se os seguintes botões: POWER (para ligar o osciloscópio), FOCUS (para regular a focagem do ecrã), INTENSITY (para regular o brilho do ecrã), TIME/DIV (para regular a base de tempo), MODE (em AUTO para frequências superiores a 50Hz), SOURCE

(INT, EXT e LINE), VOLTS/DIV (para regular a base de voltagem) e as opções AC, DC e GND.

Material:

- Gerador de sinais ou funções
- Osciloscópio de raios catódicos
- Bobinas (800, 400 e 200 espiras)
- Fios de ligação
- Amperímetro de corrente alternada
- Pilha seca de 4,5 V
- Íman em barra

Procedimento:**A – Força eletromotriz de uma pilha seca em circuito aberto.**

- Seleciona, no osciloscópio, CH1 X, EXT e GND (fig.201 e 202).



Figura 201

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)



Figura 202

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Desliga a base de tempo, rodando TIME/DIV no sentido anti-horário.
- Coloca o botão MODE em AUTO.
- Com os botões POSITION, obtém um ponto luminoso no centro do ecrã (fig.203).

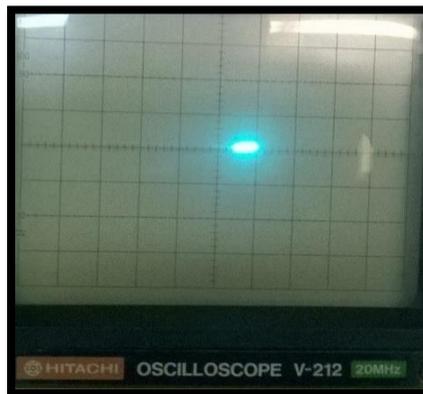


Figura 203

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Regula o botão VOLT/DIV para 0,2 VOLT/DIV (observarás uma linha contínua).
- Liga o cabo de ponta de prova à entrada CH1 X do osciloscópio.
- Introduce o modo DC.
- Liga as extremidades da ponta de prova à pilha, com o fio flexível (massa ou ligação à terra) ligado ao pólo negativo da pilha (fig.204).



Figura 204

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Na ponta de prova, liga o botão vermelho para: X 10.
- Liga a base de tempo (TIME/DIV) e regula para 0,5 ms/DIV (observarás um traço horizontal no ecrã, acima do meio (fig.205)). O que concluis ?

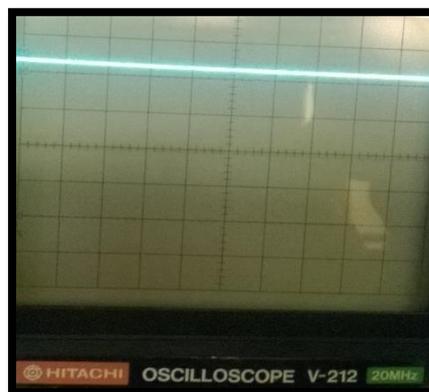


Figura 205

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Conta o número de divisões. Sabendo que cada divisão corresponde a 0,2 V e que a ponta de prova está na posição X 10, a diferença de potencial que se está a medir é igual ao número de divisões vezes 10.

B – Medição da força eletromotriz induzida numa bobina por um íman

- Liga aos terminais da bobina de 200 espiras a ponta de prova do osciloscópio introduzida em CH1 X.

- Na ponta de prova, liga o botão vermelho para X 10.
- Escolhe a fonte EXT.
- Coloca o comando MODE em NORM.
- Introduce o modo DC.
- Regula o botão VOLT/DIV para 10 mV (observarás uma linha contínua (fig.206)).

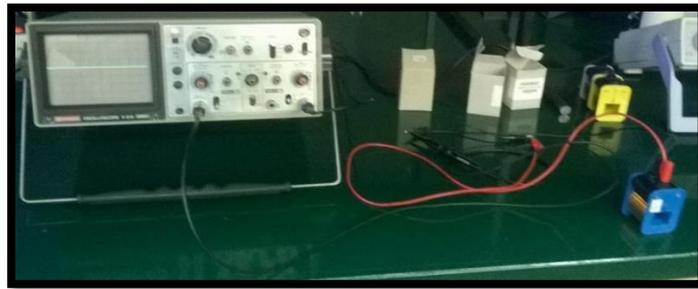


Figura 206

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Regula o botão TIME/DIV para 0,5 ms.
- Introduce o pólo norte do íman em barra (fig.207) na bobina e depois afasta-o à mesma velocidade. A linha flutua abaixo e acima do meio (fig.208 e 209).



Figura 207

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)



Figura 208



Figura 209

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Regista a força eletromotriz máxima induzida no circuito.
- Introduce agora o pólo sul na bobina, imobiliza-o e depois afasta-o à mesma velocidade. Regista as tuas observações.
- Repete o procedimento anterior para a bobina de 400 e de 800 espiras.
- Relaciona o módulo da força eletromotriz máxima induzida na bobina com o número de espiras da bobina, para a aproximação e afastamento do íman.

C – Medição da força eletromotriz induzida numa bobina por um gerador de sinais.

- Monta um circuito indutor com um gerador de sinais (fig.210), um amperímetro de corrente alternada (fig.211) e uma bobina de 800 espiras (fig.212) ligados em série (fig.213).



Figura 210

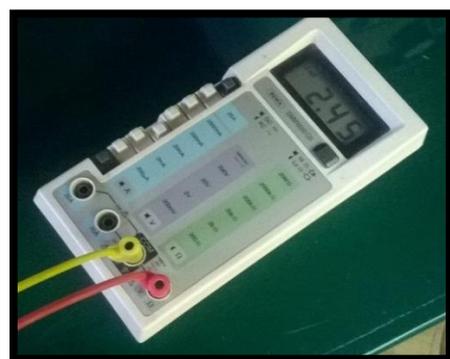


Figura 211

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

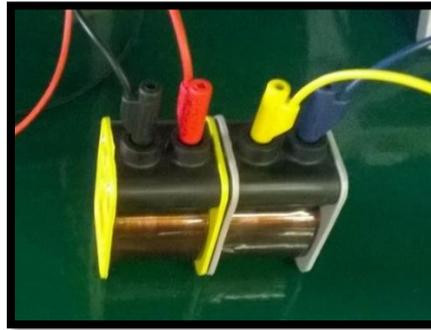


Figura 212

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

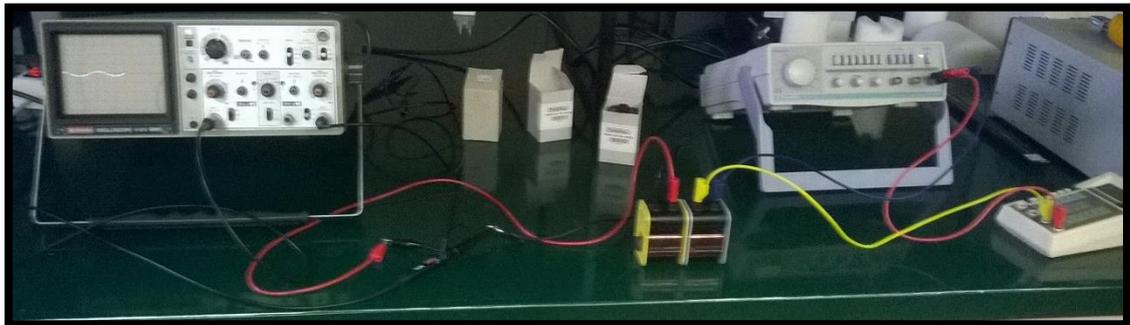


Figura 213

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Selecciona o sinal sinusoidal (\sim) de frequência 1KHz no gerador de sinais.
- Na ponta de prova, liga o botão vermelho para X 10.
- Usa, para o circuito induzido, uma bobina de 200 espiras.
- Liga aos terminais da bobina de 200 espiras à ponta de prova do osciloscópio introduzida em CH1 X.
- Coloca esta bobina ao lado da do circuito indutor.
- Coloca o comando MODE em NORM.
- Escolhe o modo AC.
- Com a base de tempo desligada (roda TIME/DIV no sentido anti-horário), liga o osciloscópio (POWER).
- Liga o gerador de sinais (ON).
- Regula o botão VOLT/DIV para 50 mV.

- No gerador de sinais regula a AMPLITUDE até a intensidade máxima da corrente ser de 3,29 mA (lê o amperímetro de corrente alternada). Observas uma linha vertical no ecrã (a linha não deve ter mais de 1cm) (fig.214). O que conclusis?

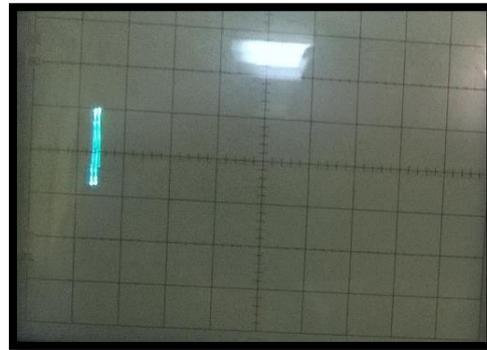


Figura 214

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Liga a base de tempo para 10 ms. Observa o sinal sinusoidal (fig.215 e 216).
- Mede a amplitude da força eletromotriz induzida.

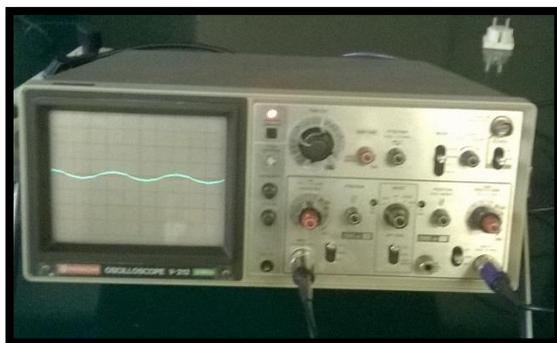


Figura 215

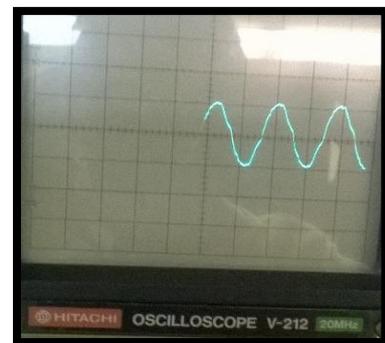


Figura 216

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

- Substitui a bobina de 200 espiras pela de 400 espiras.
- Mede a amplitude da força eletromotriz induzida.
- Varia a frequência do sinal para 2 KHz, mantendo a intensidade máxima da corrente em 3,22A. Para isso, regula o botão AMPLITUDE do gerador de sinais até se obter o mesmo valor no amperímetro. O que observas?

Questões Pós-Laboratoriais:**A – Força eletromotriz de uma pilha seca em circuito aberto**

- 1- Pode considerar-se que a pilha seca está em circuito aberto. Explica.
- 2- A que corresponde a diferença de potencial aos seus terminais?

B – Medição da força eletromotriz induzida numa bobina por um íman

- 1- Explica, recorrendo à lei de Faraday e à lei de Lenz, porque a linha flutua acima e abaixo do meio durante a aproximação e afastamento do pólo norte do íman da bobina.
- 2- Explica, recorrendo à lei de Faraday, porque a linha permanece no meio quando se detém o íman.
- 3- Explica, recorrendo à lei de Faraday e à lei de Lenz, porque o sentido da flutuação da linha se inverte quando se introduz o pólo sul do íman.
- 4- Como varia a força eletromotriz induzida com o aumento do número de espiras da bobina do circuito induzido? Justifica.

C – Medição da força eletromotriz induzida numa bobina por um gerador de sinais

- 1- Qual a função do gerador de sinais ou de funções? Que tipo de função foi gerada no circuito induzido? A que corresponde a sua amplitude?
- 2- Em corrente contínua, nas extremidades de uma bobina são criados dois pólos magnéticos contrários. As polaridades magnéticas são fixas enquanto as polaridades de alimentação o forem. Assim, explica, recorrendo à lei de Faraday e à lei de Lenz, o aparecimento de uma força eletromotriz alternada no circuito induzido.
- 3- Como varia a força eletromotriz induzida com o aumento da frequência do sinal indutor? Justifica.

18.5 Atividade Laboratorial 5 – A Lei de Faraday (com Recurso ao Programa *DataStudio* da *PASCO*)

Questões Pré-Laboratoriais:

1. Quais são as conclusões que se retiram da lei de Faraday?
2. Quando se aproxima e afasta o pólo norte de um íman do interior de uma bobina ligada aos terminais de um galvanómetro, o ponteiro do galvanómetro oscila para a direita e para a esquerda. Explica, recorrendo à lei de Faraday, a oscilação do ponteiro do galvanómetro. Se se aproximar o íman a uma velocidade maior do interior da bobina o que sucederá ao desvio do ponteiro do galvanómetro?

Guião Para a Atividade Laboratorial 5

Objetivo: Analisar a dependência entre a força eletromotriz induzida e o tempo de indução.

Material:

- Equipamento da PASCO
- Sensor de movimento ultrassónico
- Sensor de tensão
- Interface
- Programa DataStudio
- Folha de cálculo do Excel
- 6 ímanes cilíndrico de neodímio
- Calha e carrinho
- Bobina de Helmholtz

Procedimento:

1. Liga a interface *ScienceWorkshop* ao computador (fig.217 e 218).



Figuras 217 e 218

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

2. Liga o sensor de movimento ao *Analog Channel A* da interface (fig.219).
3. Liga o sensor de voltagem ao *Digital Channel 1 e 2* da interface (fig.219).



Figura 219

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

4. Monta o equipamento experimental da figura 220 para a realização da atividade laboratorial.
5. Coloca a bobina de Helmholtz no centro da calha.



Figura 220

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

6. Coloca, numa extremidade da calha, o sensor de movimento (fig.221).



Figura 221

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

7. Verifica se a calha se encontra na horizontal, sem declive.
8. Verifica se o pólo norte, do conjunto de 6 ímanes de neodímio deitado sobre o carrinho (fig.222), passa pelo centro da bobina de Helmholtz (fig.223).



Figuras 222 e 223

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

9. Liga o sensor de voltagem aos terminais da bobina de Helmholtz (fig.224).

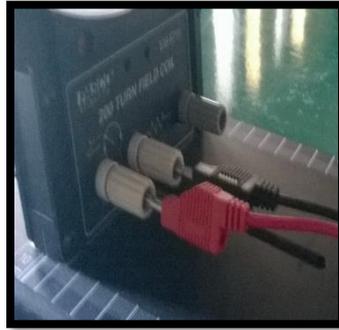


Figura 224

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

10. Liga o computador, clica duas vezes no programa *DataStudio* e selecciona a opção *Create Experiment* (fig.225).

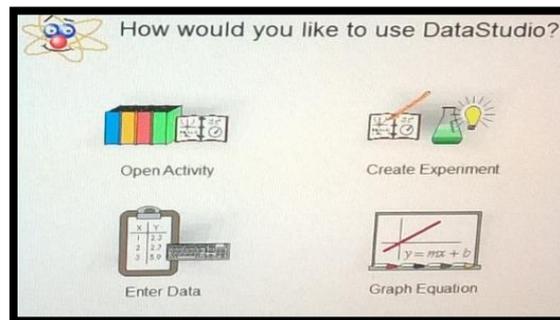
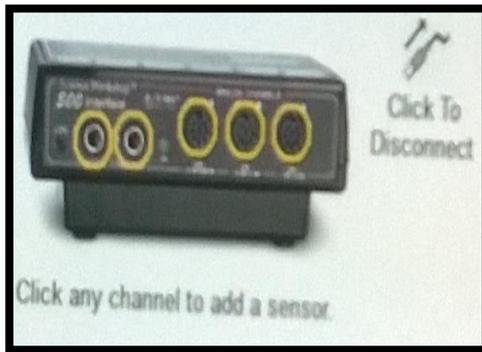


Figura 225

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

11. No programa *DataStudio*, conecta os sensores e clica no canal digital 1 e 2 e no canal analógico A, para obteres o sensor de movimento e o sensor de voltagem (fig.226 e 227), respetivamente.



Figuras 226 e 227

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

12. No sensor de movimento, escolhe o intervalo de tempo de recolha de dados. Faz o mesmo para o sensor de voltagem (fig.228).

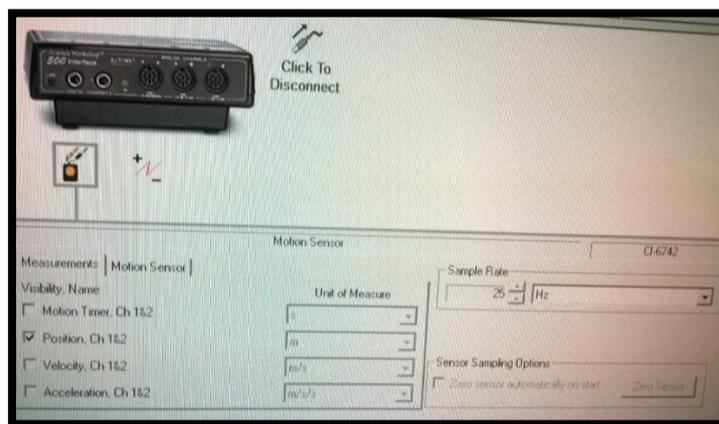
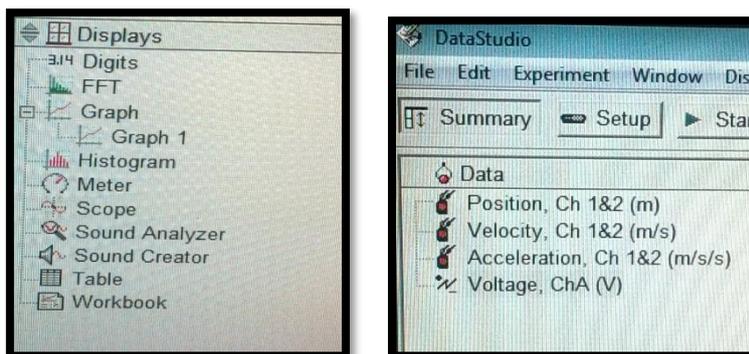


Figura 228

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

13. Em *Displays*, arrasta *Graph* e *Table* para *Position* e, depois, para *Voltage* (fig.229 e 230).



Figuras 229 e 230

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

14. No ecrã, surgem-te os gráficos e as tabelas respetivas (fig.231). Agora, estás pronto para a recolha de dados.

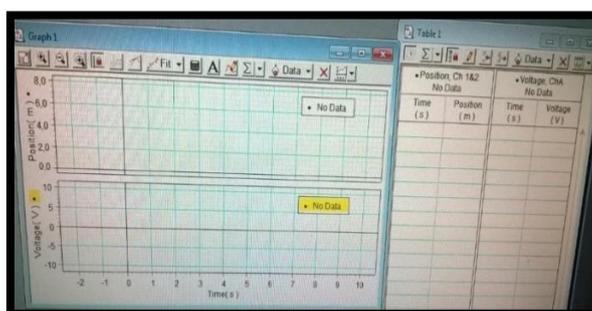


Figura 231

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

15. Clica em *Start* e, em simultâneo, lança o carrinho, através de uma força impulsiva, de modo a que atravesse a bobina. Termina a recolha de dados, quando o carrinho atingir a outra extremidade da calha, e analisa os gráficos da posição do carrinho em função do tempo e da força eletromotriz induzida na bobina em função do tempo (fig.232).

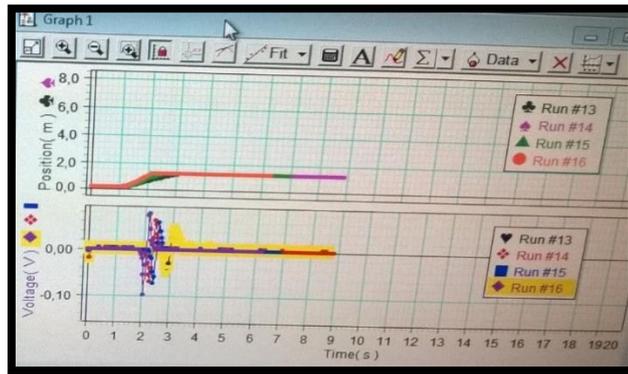


Figura 232

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

16. Guarda os dados das tabelas no *Excel*: clica em *Run* (fig.233), move o ponteiro para o lado esquerdo e, na barra de menus, clica em *Edit*. Clica em *Copy* e cola os dados numa folha de *Excel*.

Voltage, ChA Run #13	
Time (s)	Voltage (V)
6,1200	0,000
6,1600	0,000
6,2000	0,000
6,2400	0,000
6,2800	0,000
6,3200	0,000
6,3600	0,000
6,4000	0,000
6,4400	0,000
6,4800	0,000
6,5200	0,000
6,5600	0,000
6,6000	0,000

Figura 233

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

17. Lança de novo o carrinho, mas, agora, com uma força impulsiva maior, e repete os dois passos anteriores.

Questões Pós-Laboratoriais:

1. Analisa o primeiro gráfico da tensão em função do tempo (fig.234) e determina o valor mínimo e o máximo da força eletromotriz induzida na bobina, quando o pólo norte do conjunto de ímanes de neodímio se aproxima dela e quando se afasta.

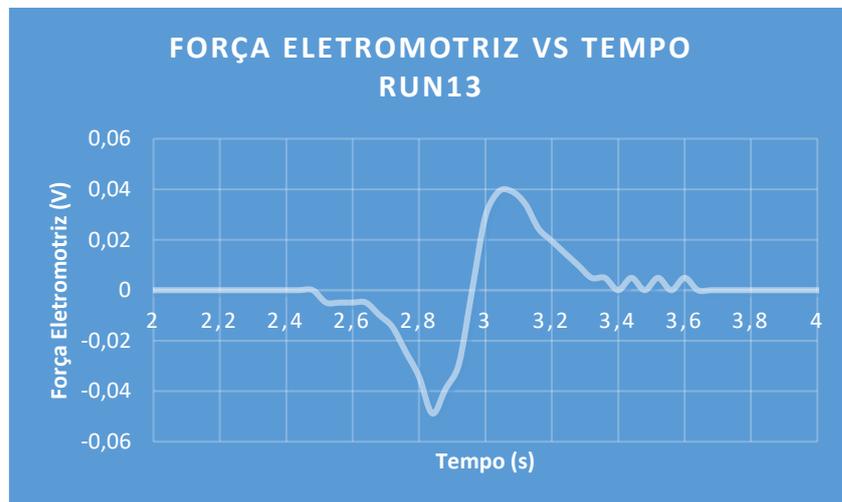


Figura 234

(Fonte: Excel.)

2. O módulo do valor mínimo da força eletromotriz é igual ao módulo do valor máximo da força eletromotriz? Se não o for, apresenta razões para a diferença encontrada.
3. Qual o significado físico da área sob o gráfico de voltagem em função do tempo, no intervalo de tempo compreendido entre o valor máximo da força eletromotriz induzida e o valor nulo? Poderias calcular a variação aproximada do campo magnético que atravessa a bobina durante o intervalo de tempo referido? Explica.
4. Representa, de modo qualitativo e graficamente, a variação do fluxo magnético em função do tempo.
5. Explica por que razão o sinal da força eletromotriz do primeiro pico é oposto do sinal do segundo pico.

6. Explica por que razão a força eletromotriz é nula quando o centro do magnete passa pelo centro da bobina.

7. Analisa o primeiro gráfico da posição do carrinho em função do tempo (fig.235), caracteriza o tipo de movimento do carrinho e calcula, através da linha de tendência para o intervalo de tempo [1,5-3,0 (s)] (fig.236), o módulo da sua velocidade durante a indução magnética.



Figura 235

(Fonte: Excel)



Figura 236

(Fonte: Excel.)

8. Representa as forças que atuam sobre o sistema (carrinho e magnete), durante o movimento do carrinho.

9. Analisa o segundo gráfico da tensão induzida na bobina em função do tempo (fig.237) e determina o valor mínimo e o máximo da força eletromotriz induzida na bobina, quando o pólo norte do conjunto de ímãs de neodímio se aproxima dela e quando se afasta.

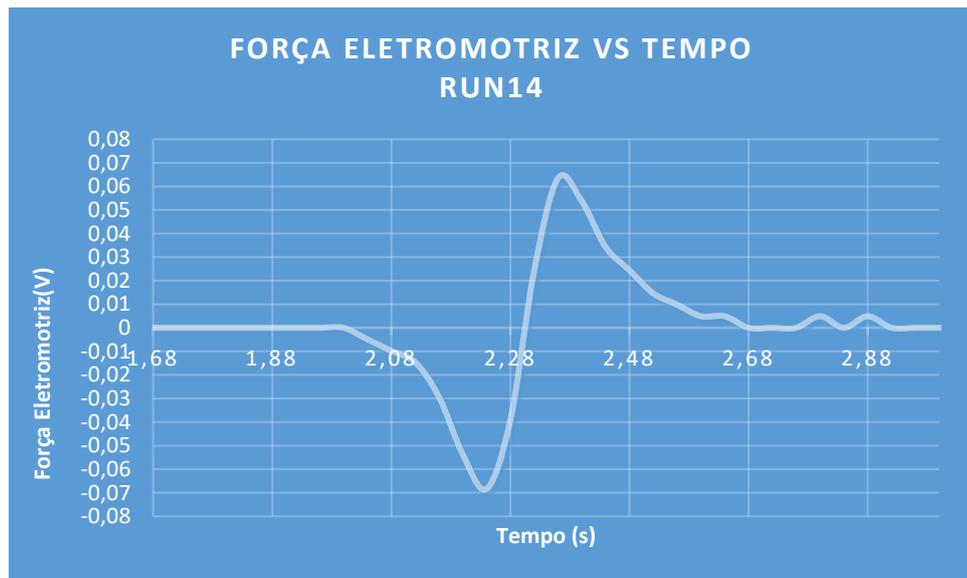


Figura 237

(Fonte: Excel.)

10. Analisa o gráfico da posição do carrinho em função do tempo (fig.238), caracteriza o tipo de movimento do carrinho e calcula, através da linha de tendência para o intervalo de tempo [1,2-2,4 (s)] (fig.239), o módulo da sua velocidade durante a indução magnética.



Figura 238

(Fonte: Excel.)



Figura 239

(Fonte: Excel.)

11. Que conclusões retiras da relação entre a velocidade do carrinho e o módulo da força eletromotriz induzida na bobina.
12. Elabora o relatório da atividade laboratorial.

18.6 Atividade Laboratorial 6 – Correntes de Redemoinho (*Eddy Currents*) ou Correntes de Foucault

Questões Pré-Laboratoriais:

1. Considera o pêndulo gravítico simples da figura 240, suspenso num ponto e constituído por uma esfera homogénea de massa $2,0 \times 10^{-1} \text{Kg}$ suspensa por um fio inextensível de massa desprezável e com 1,0 m de comprimento. A amplitude angular máxima do pêndulo é 60° .

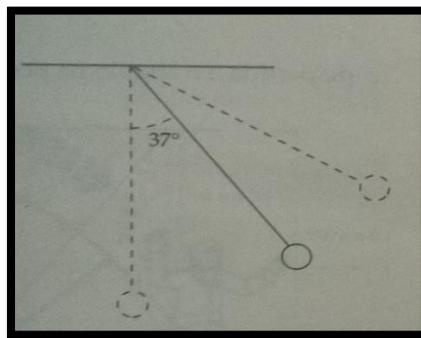


Figura 240: Pêndulo gravítico

(Fonte: Fiolhais, Carlos & Jorge Valadares & Luís Silva & Vitor Duarte Teodoro, 1995)

- 1.1. Caracteriza o tipo de movimento do pêndulo gravítico simples, para pequenas oscilações.
- 1.2. Representa as forças que atuam sobre a esfera, quando esta se encontra na posição angular de 37° .
- 1.3. Para pequenas oscilações, o período do movimento do pêndulo é dado por:

$$T = 2 \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

onde l representa o comprimento do fio e g a aceleração da gravidade no local.

- 1.3.1. Que conclusões retiras da expressão do período do movimento do pêndulo.
- 1.3.2. Calcula o período do movimento do pêndulo, considerando que a aceleração da gravidade no local é de $9,8 \text{ m/s}^2$.

- 1.4. Considerando que a porção de arco $s(t)$, dá-nos a posição da partícula sobre a trajetória, num instante t , em relação à origem dos tempos, qualquer posição do pêndulo pode ser caracterizada pelo ângulo $\theta = \theta(t)$ que o fio faz com a vertical. Escreve a equação do movimento harmónico simples do pêndulo, considerando que para pequenas oscilações $\sin \theta \approx \theta$ e que a fase do movimento na origem dos tempos é de 37° .
2. O movimento relativo de um ímã e de uma bobina induz uma força eletromotriz nesta última e, conseqüentemente, se a bobina estiver num circuito fechado, uma corrente elétrica. Se uma peça metálica condutora (por exemplo de cobre ou de alumínio) oscilar num campo magnético constante, criar-se-ão nela forças eletromotrizes induzidas e correntes induzidas? O seu movimento será também um movimento harmónico simples?

Guião Para a Atividade Laboratorial 6

Objetivo: Compreender o efeito de correntes de redemoinho no amortecimento do movimento de um pêndulo com uma peça de alumínio maciço e em pente.

Material:

- Dois ímanes de neodímio.
- Três suportes universais com garras.
- Peça retangular de alumínio maciço.
- Peça retangular de alumínio em pente.
- Máquina de calcular da *Texas Instruments*.
- CBR2TM (Calculator-Based RangerTM) com sensor de movimento ultrassónico.

Procedimento:

PARTE I

1. Faz a montagem da figura 241: dois pêndulos (um de alumínio maciço (fig.242) e outro de alumínio em pente (fig.243)) a oscilarem num campo magnético de dois ímanes de

neodímio (as linhas de força saem do pólo norte do íman à esquerda e entram no pólo sul do íman à direita).



Figura 241

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

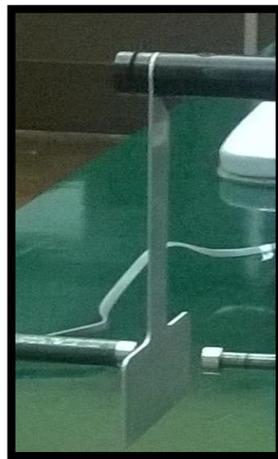


Figura 242



Figura 243

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

2. Eleva à mesma altura os dois pêndulos (de modo que a amplitude angular seja pequena) e solta-os em simultâneo. Regista as tuas observações, no que se refere à amplitude das oscilações de cada um?

PARTE II

3. Retira da montagem da figura 1 o pêndulo de alumínio em pente.

4. Encaixa a máquina de calcular no suporte do CBR2 e liga-a a este último, através do cabo de ligação (fig.244).



Figura 244

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

5. Liga a máquina de calcular ao computador, através do cabo de ligação.
6. Liga o suporte do CBR2 ao CBR2, colocado a uma certa distância do pêndulo (cerca de 20 cm) (fig. 245 e 246). No interruptor de sensibilidade do CBR2 escolhe o modo Normal para o movimento pendular.



Figura 245



Figura 246

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

7. Na máquina de calcular, prime a tecla *APPS*, seleciona a aplicação *EasyData* e prime em *ENTER* (fig.247).

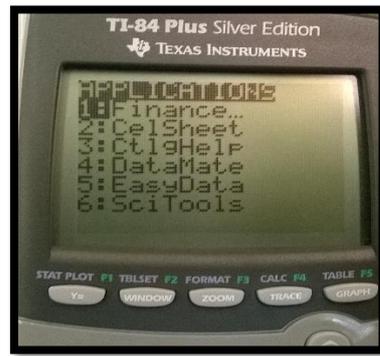


Figura 247

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

8. Selecciona *Setup* (prime em *WINDOW*).
9. Prime 2 (*Time Graph*) para abrir o ecrã *Time Graph Settings* (fig.248).

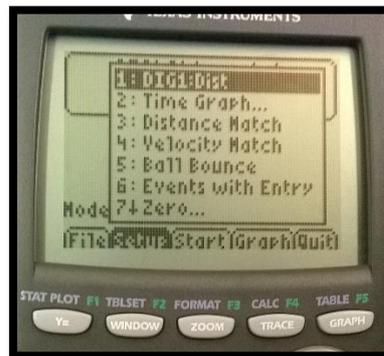


Figura 248

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

10. Selecciona *Edit* (prime *ZOOM*) para abrir a janela da caixa de diálogo *Sample Interval*.
11. Em *Sample Interval*, introduz 0.05.
12. Selecciona *Next* (prime *ZOOM*) para ir para a janela da caixa de diálogo *Number of Samples*.
13. Em *Number of Samples*, introduz 30 (fig.249).

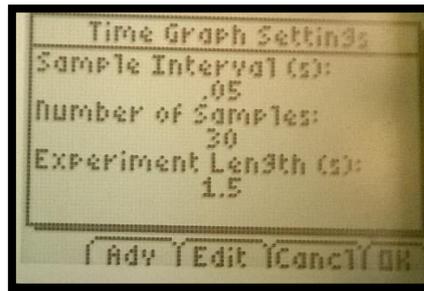


Figura 249

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

14. Selecciona Next (prime ZOOM).

15. Depois de seleccionares *OK* (premires *GRAPH*), regressas ao ecrã principal e a tua máquina de calcular está pronta para receber dados experimentais (fig.250).

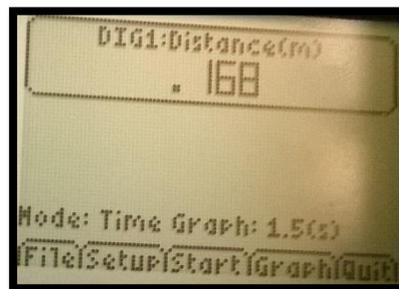


Figura 250

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

16. Eleva um pouco o pêndulo de alumínio maciço da figura 251 (de modo que a amplitude angular seja pequena) .



Figura 251

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

17. Na máquina de calcular, selecciona *Start* (prime em *ZOOM*).

18. Larga o pêndulo de alumínio maciço, no mesmo instante em que seleccionas *OK* (primeiras em *GRAPH*) (fig.252).

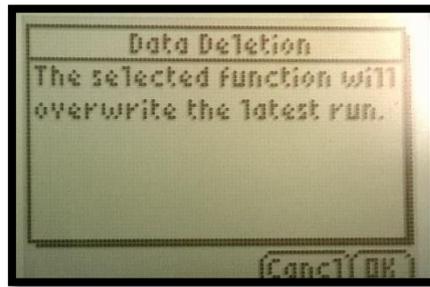


Figura 252

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

19. Obténs no ecrã da máquina de calcular o gráfico da posição do pêndulo em função do tempo (fig.253).

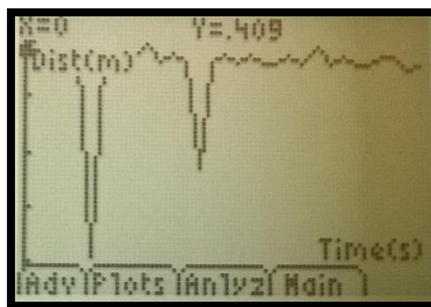


Figura 253

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

20. Selecciona *Plots* (primeira *WINDOW*) e selecciona o gráfico da velocidade do pêndulo em função do tempo (fig.254).

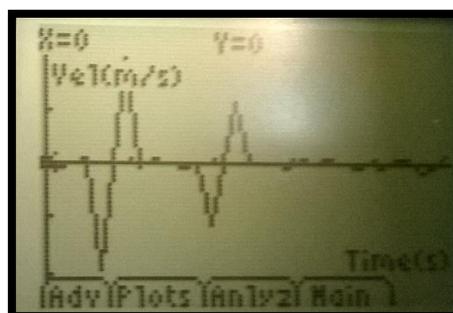


Figura 254

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

21. No programa TI Connect, instalado no computador, prime *TI ScreenCapture* (fig.255), para obteres as imagens de ambos os gráficos (fig.256 e 257).

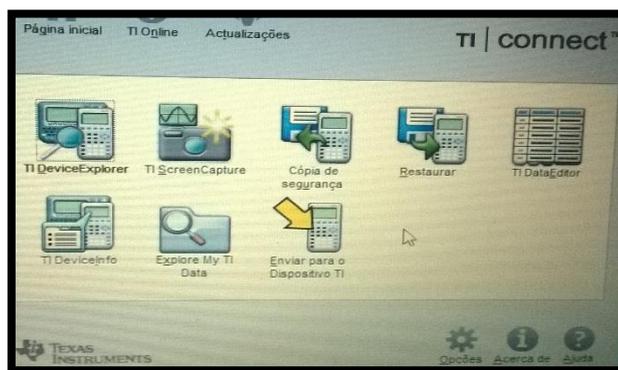


Figura 255

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

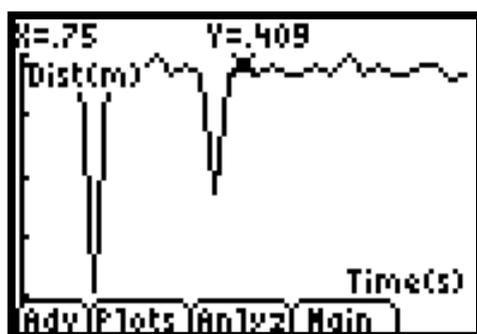


Figura 256

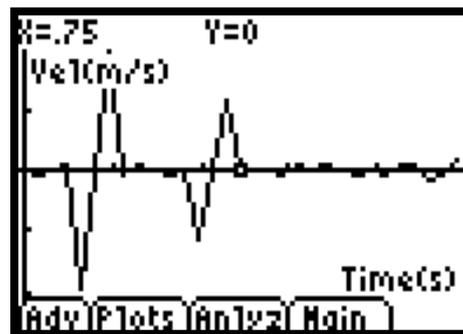


Figura 257

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

22. Na máquina de calcular transfere os dados dos gráficos para uma determinada lista, selecionando *Adv* e *Custom Plot* (fig.258 e 259).

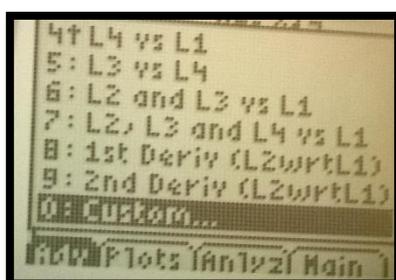


Figura 258

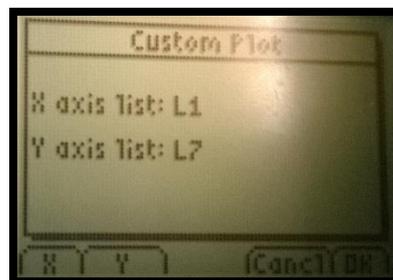


Figura 259

(Fonte: Laboratório do departamento de Física da FCTUC.)

23. No programa TI Connect, prime *TI Device Explorer*, e copia os dados das respetivas listas para uma folha de cálculo do Excel, onde obténs os respetivos gráficos (fig.260 e 261).



Figura 260

(Fonte: Excel.)



Figura 261

(Fonte: Excel.)

24. Repete o procedimento anterior, mas, agora, para o pêndulo de alumínio em pente (os gráficos obtidos são os das figuras 262 e 263), procurando largá-lo da mesma altura.



Figura 262

(Fonte: Excel.)



Figura 263

(Fonte: Excel.)

25. Repete o procedimento anterior, mas, agora, para o pêndulo de alumínio em pente (os gráficos obtidos são os das figuras 264 e 265), na ausência do campo magnético, procurando largá-lo da mesma altura.



Figura 264 (neste caso usou-se o modo Faixa)

(Fonte: Excel.)

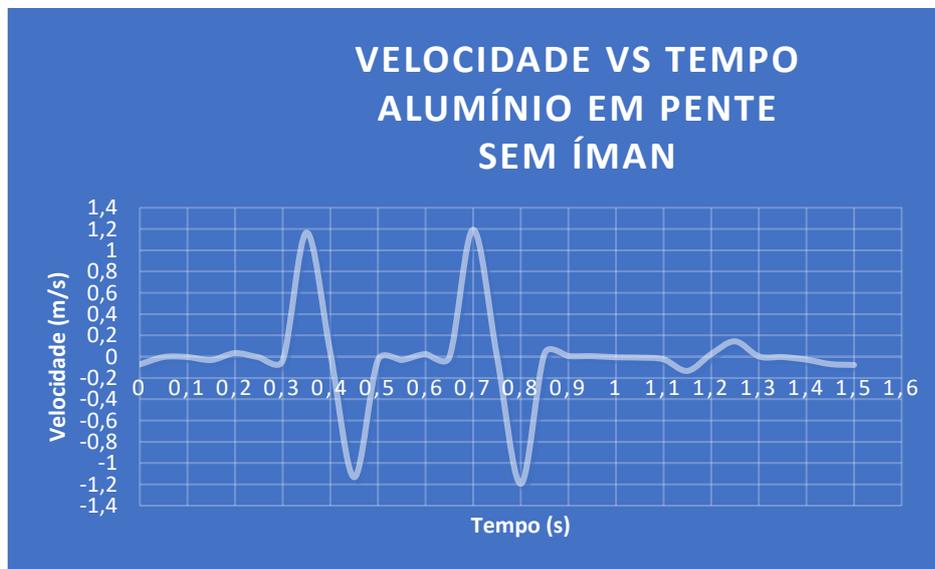


Figura 265 (neste caso usou-se o modo Faixa)

(Fonte: Excel.)

Questões Pós-Laboratoriais:

1. O pêndulo de alumínio maciço e o pêndulo de alumínio em pente são pêndulos simples? Justifica, considerando o peso da haste e da peça de alumínio.
2. Explica – recorrendo à lei de Faraday, à lei de Lenz e à lei de Laplace – o motivo de as oscilações serem rapidamente amortecidas (diminuírem de amplitude) no caso do pêndulo de alumínio maciço em relação ao pêndulo de alumínio em pente.
3. Analisando os gráficos da posição em função do tempo do pêndulo de alumínio maciço e em pente, na presença de um campo magnético, concluis também que as oscilações são mais rapidamente amortecidas no caso do pêndulo de alumínio maciço em relação ao pêndulo de alumínio em pente?
4. Representa as forças que atuam em ambos os pêndulos (alumínio maciço e em pente), quando entram e quando abandonam o campo magnético.
5. Analisando o gráfico da velocidade em função do tempo do movimento do pêndulo de alumínio maciço, no campo magnético, explica como varia a velocidade escalar e o seu módulo durante a primeira oscilação.
6. Da análise do gráfico da posição do pêndulo de alumínio em pente em função do tempo, na ausência do campo magnético, consideras que as forças de atrito se podem desprezar, e que, da altura em que se largou o pêndulo (do ângulo inicial que o pêndulo faz com a vertical) e da amplitude das oscilações, se pode considerar o movimento do pêndulo como harmónico simples? Justifica as tuas posições, apresentando sugestões, ao nível da execução experimental, para se diminuírem as forças de atrito e para que o movimento harmónico representado se aproxime de uma função sinusoidal (durante um balanço completo, o pêndulo pare, durante um instante, e inverta o sentido do movimento) .

Pequeno Debate:

1. O amortecimento das oscilações de um pêndulo metálico, num campo magnético, tem diversas aplicações no dia-a-dia. Conheces algumas?
2. Considerando o efeito de Joule das correntes de Foucault, de que modo poderão ser aplicadas no dia-a-dia.

19. Conclusão

Não foram muitos os cientistas e pedagogos do século vinte que conseguiram escrever sobre os fenómenos químicos, explicando-os de um modo simples e apaixonado. Isaac Asimov, por exemplo, foi um deles. Rómulo de Carvalho foi outro. Ainda menos, foram os escritores que, na sua prosa e poesia, se arriscaram a introduzir, regularmente, conteúdos químicos, mantendo a harmonia e a clareza dos textos. Primo Levi foi um deles. Rómulo de Carvalho foi outro. Antes de iniciarmos o relatório, apenas conhecíamos alguns poemas de Rómulo de Carvalho e sabíamos que tinha sido professor de Ciências Físico-Químicas. Depois, descobrimos os seus livros dedicados à história da física e da química, assim como os cadernos de iniciação científica, que lemos, apaixonada e avidamente. Neles encontramos uma fonte de conhecimentos que podem ser usados quer por docentes para prepararem as suas planificações, quer por alunos, para consolidarem as aprendizagens, e inteiramo-nos da sua utilidade pedagógica. No entanto, para Rómulo de Carvalho, os conhecimentos só poderiam ser apreendidos pela experiência, em última análise, pelo contacto íntimo com a natureza das coisas. Por exemplo, durante a experiência da eletrólise de uma solução de cloreto de sódio passámos a conhecer o modo como se forma um pó de cloreto de cobre sobre o eléctrodo ligado ao pólo positivo (tal e qual como é referido no manual “*A Física no Dia a Dia*”).

Apesar d’As Aprendizagens Essenciais e de o *Programa de Física e Química A* não explicitarem as experiências sobre a lei de Faraday e a indução eletromagnética que poderemos realizar em sala de aula, referindo-se a elas de uma modo genérico, existem várias maneiras de abordar esta temática, desde o simples uso de um íman em barra e de um circuito indutor (bobina ligada aos terminais de um galvanómetro), passando pela utilização de um osciloscópio de raios catódicos, até às novas tecnologias de informação e comunicação, como o programa *DataStudio* da *PASCO* ou a aplicação *EasyData* da máquina de calcular *Texas Instruments*. Para a realização destas experiências em sala de aula, devemos realizá-las previamente. Assim, aperfeiçoá-las-emos ao nível técnico, adaptá-las-emos melhor aos alunos e evitaremos possíveis contratempos que poderiam ocorrer e para os quais não tivéssemos, de imediato, a resposta apropriada. Para as experiências realizadas, como a experiência de Oersted e as várias experiências sobre a lei de Faraday, o conhecimento da história da ciência é fulcral aquando da feitura das planificações curriculares (os trabalhos de Oersted, Ampère e Faraday não podem ser negligenciados).

Por fim, salientamos que os escritos de Rómulo de Carvalho foram de uma importância sublime na realização das atividades de laboratório. Neste ponto destacamos não só os artigos científicos, sobre o uso do osciloscópio de raios catódicos, como também os *Cadernos de Iniciação Científica* ou a *História do Telefone*. Também o artigo *A Física como objeto de ensino*, onde Rómulo de Carvalho faz a distinção entre método, processo, forma e modo, foi-nos muito útil ao nível didático.

20. Bibliografia

Aido, Alcina do & Maria Adélia Passos Ponte & Maria Martins & Maria Bastos & Maria Josefina Pereira & Maria Leitão & Rómulo de Carvalho (1982). *Física, Para O 12.º Ano De Escolaridade / Via De Ensino*, Sá da Costa Editora.

Aikenhead, G. (1994). *Consequences Of Learning Through STS: A Research Perspective*. In J. Solomon & G. Aikenhead, *STS Education – International Perspectives On Reform*, Teachers Colleg e Press, New York.

Allègre, Claude (2005). *Um Pouco De Ciência Para Todos*, Editora Gradiva.

Almeida, Maria José B. Marques de (2004). *Preparação De Professores De Física*, Livraria Almedina – Coimbra.

Ampère, Marie-André (1965). *On The Mathematical Theory Of Electrodynamical Phenomena, Experimentally Deduced*, In Tricker RAR, *Early Electrodynamics – The First Law of Circulation*, New York, Pergamon.

Ampère, Marie-André & Babinet (1822). *Exposé Des Nouvelles Découvertes Sur l'Électricité Et Le Magnétisme*, Chez Méquignon-Marvis.

Anónimo (1996). *Livro Dos Mortos Do Antigo Egipto*, Editora Hemus.

Asimov, Isaac (2004). *Átomo, Uma Viagem Pelo Universo Subatômico*, Campo das Letras.

Assis, A. K. T. & Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J. & Chaib, J. P. M. C. (2007). *From Electromagnetism To Electrodynamics: Ampère's Demonstration Of The Interaction Between Current Carrying Wires*, 4th International Conference on Hands-on Science Development, Diversity and Inclusion in Science Education.

Bagno, E. & Eylon, B. (1997). *From Problem Solving To A Knowledge Structure: An Example From The Domain Of Electromagnetism*, American Journal of Physics, vol. 65(8), pp. 726-736.

Bar, Zinn & Rubin (1997). *Children's Ideas About Action A Distance*, International Journal of Science Education, vol.19 (10), pp. 1137-1157.

Barchiesi, Dominique (2014). *Didactical Formulation Of The Ampère Law*, European Journal of Physics Education, vol. 35.

Barrow, L. H. (1987). *Magnet Concepts And Elementary Students' Misconceptions*. In J. Novak (Ed.), Proceedings of the 2nd Int. Seminar "Misconceptions And Educational Strategies In Science And Mathematics" (Vol. III). Ithaca, NY: Cornell University.

Beléndez, A. (2015). *Electromagnetic Unification, 150 th Anniversary Of Maxwell's Equations*, Méthode.

Bello, Adelaide & Helena Caldeira (2004). *Ontem E Hoje, Física E Química A, 11.ºAno*, Porto Editora.

Bello, Adelaide & Helena Caldeira & Esmeralda Costa, (1996). *Ritmos E Mudanças, Física, 10.ºAno*, Porto Editora.

Birk, J. & A. E. Lawson (1999). *The Persistence Of the Candle And Cylinder Misconception*, Journal of Chemical Education, vol.76, pp. 914-916.

Bloch, S. C. (2004). *Excel, Para Engenheiros E Cientistas*, LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora S. A.

Borges, A. T. & Gilbert, J. K. (1998). *Models Of magnetism*, International Journal of Science Education, vol. 20(3), pp. 361–378.

Borges, Jorge Luis, (2012). *Obra Poética, Volume 1*, Quetzal Editores.

Branco, Maria do Rosário Correia, (2001). *Principia, Sobre Os Elementos Da Filosofia De Newton*, Principia (Publicações Universitárias e Científicas).

Bulfinch, Thomas (2002). *O Livro De Ouro Da Mitologia*, Ediouro Publicações.

Calzaferri, Gion (1999). *Oxidation Numbers*, Journal of Chemical Education, vol.76.

Camões, Alda Pereira & Filomena (1996). *Química – 10.ºAno*, Texto Editora.

Campos, L. S. & Mourato, Miguel (1999). *Nomenclatura Dos Compostos Orgânicos*, Escolar Editora.

Cardoso, A. Correia (1993). *A Centralidade Do Trabalho Laboratorial Nos Novos Programas De Química*, Plátano Editora.

Cardoso, A. Correia (2004). *Apontamentos Das Aulas De Didática Da Química*.

Carvalho, Cristina de (2012). *Rómulo De Carvalho/António Gedeão (Príncipe Perfeito)*, Editorial Estampa.

Carvalho, Frederico (2004). *A Intervenção Pedagógica De Rómulo de Carvalho No Ensino Da Física E Na Divulgação Do Conhecimento Científico*, Gazeta De Física, vol. 34 (2).

Carvalho, Frederico (2010). *Rómulo de Carvalho–Memórias*, Fundação Calouste Gulbenkian.

Carvalho, Rómulo de (1966). *A Ciência Hermética*, Relógio d'Água Editores.

Carvalho, Rómulo de (1995). *A Física No Dia-A-Dia*, Relógio d'Água Editores.

Carvalho, Rómulo de, (1983a). *A Corrente Elétrica*, Sá da Costa Editora.

Carvalho, Rómulo de (2004). *Cadernos De Iniciação Científica*, Relógio d'Água Editores.

Carvalho, Rómulo de (1970). *Ciências da Natureza-1*, Sá da Costa Editora.

Carvalho, Rómulo de (1950). *Compêndio De Química Para O 3.º Ciclo*, Livraria Studium Editora.

Carvalho, Rómulo de (1972a). *Experiências Escolares Com O Osciloscópio De Raios Catódicos Em Que Não Se Utiliza A Base De Tempo, A) – Observação Dos Desvios Sofridos Pelo Sinal Luminoso Quando Se Submete O Feixe Eletrónico À Ação Dos Campos Magnéticos E Elétricos*, Gazeta de Física, vol. 5(6).

Carvalho, Rómulo de (1972b). *Experiências Escolares Com O Osciloscópio De Raios Catódicos Em Que Não Se Utiliza A Base De Tempo , B) – Estudo Das Relações Entre Os Valores De Algumas Grandezas Físicas*, Gazeta de Física, vol. 5(7).

Carvalho, Rómulo de (1973a). *Experiências Escolares Com O Osciloscópio De Raios Catódicos Em Que Se Utiliza A Base De Tempo*, Gazeta de Física, vol. 5(8).

Carvalho, Rómulo de (1948). *O Embalsamamento Egípcio*, Biblioteca Cosmos.

Carvalho, Rómulo de (1971). *Guia De Trabalhos Práticos De Química, Para O 3.ºCiclo Do Ensino Liceal*, Atlântida.

Carvalho, Rómulo de (1973b). *História Da Eletricidade Estática*, Atlântida.

Carvalho, Rómulo de (1952). *História Da Fotografia*, Atlântida.

Carvalho, Rómulo de (1955). *História Do Átomo*, Atlântida.

Carvalho, Rómulo de (1978). *História Do Gabinete De Física Da Universidade De Coimbra*, Universidade de Coimbra, Biblioteca Geral.

Carvalho, Rómulo de (1962). *História Do Telefone*, Atlântida.

Carvalho, Rómulo de (1972c). *Introdução À Utilização Do Osciloscópio De Raios Catódicos Em Experiências Escolares*, Gazeta de Física, vol. 5 (5).

Carvalho, Rómulo de, (1983b). *Magnetismo E Eletromagnetismo*, Sá da Costa Editora.

Carvalho, Rómulo de (1953). *Problemas De Física Para O 3.º Ciclo Do Ensino Liceal (vol. II)*, Atlântida.

Cattani, M. & Vannucci (2014). *Correntes De Foucault: Aspectos Básicos (Eddy Currents: Basic Aspects)*, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 36.

Cavalcante, M. A. & Tavolaro (2004). *Ondulatória E Acústica Através De Experimentos Assistidos Por Computador* (Anais do IX Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Física), Jaboticatubas, MG.

Cavicchi, Elizabeth (2006). *Nineteenth-Century Developments In Coiled Instruments And Experiences With Electromagnetic Induction*, Annals of Science, vol. 63, pp. 319-361.

Cavinato, Michela & Elia Giliberti & Marco Giliberti (2019). *Conceptualization Of Electromagnetic Induction At Various Educational Levels: A Case Study*, Journal of Physics, vol. 1287.

Celso Bordignon Jr. & Vanessa Francescato & Alexandre Nienow & Eunice Calvete & Flávio Reginatto (2009). *Influência Do pH Da Solução Extrativa No Teor De Antocianinas Em Frutos De Morango*, Ciênc. Tecnol. Aliment. vol.29.

Chaib, J. P. M. de C.; Assis, A. K. T. (2007). *Distorção Da Obra Eletromagnética De Ampère Nos Livros Didáticos*. Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 29, pp. 65-70.

Champagne, A. B. & Kopfler, L. E. (1938). *Research In Science Education: The Cognitive Psychology Perspective*. In D. Holdzken & P. B. Lutz, *Research Within Reach: Science Education*, Charleston.

Corrêa, Carlos & Basto, F. Pires (1995). *Química, 12.º Ano*, Porto Editora.

Crato, Nuno (2006). *Rómulo de Carvalho, Ser Professor* (Organização E Apresentação De Nuno Crato), Editora Gradiva.

Damião, Helena (2019). *Apontamentos Da Disciplina De Desenvolvimento Curricular E Avaliação*.

Darrigol, Olivier (2000). *Electrodynamics From Ampère To Einstein*, University Press, Oxford.

Demoulin, Gustave (1888). *Ampère*, Librairie Hachette et C^{ie}.

Devons, Samuel (1975). *The Search Of Electromagnetic Induction (1820-1831)*, Bernard-Columbia History of Physics Laboratory.

Dewey, J. (1938). *Experience and Education*, MacMilan, New York.

Dori, Yehudit Judy & Belcher, J. (2005). *How Does Technology-Enabled Active Learning Affect Students' Understanding Of Scientific Concepts?*, The Journal of the Learning Sciences, vol.14(2), pp. 243-279.

Dori, Yehudit Judy & Belcher, J. (2015). *Learning Electromagnetism With Visualizations And Active Learning*, pp. 187-216. In John K. Gilbert, *Visualization In Science Education*, Springer.

Eilks, Ingo & Avi Hofstein (2013). *Teaching Chemistry – A Studybook*, Sense Publishers.

Erickson, G. (1994). *Pupils' Understanding Magnetism In A Practical Assesment Context: The Relationship Between Content, Process And Progression*. In P. Fensham, R. Gunstone, & R. White (Eds.), *The content of science*. London: Falmer.

Farias, Luciana Aparecida (2013). *Jardins Químicos, Stéphane Leduc e a Origem da Vida*, Química Nova na Escola, vol. 35, pp. 152-157.

Fernandes, Maria & Paulo Porto (2012). *Investigando A Presença Da História Da Ciência Em Livros Didáticos De Química Geral Para O Ensino Superior*, Química Nova, vol. 35, pp. 420-429.

Festas, Maria Isabel Ferraz (2015). *A Aprendizagem Contextualizada: Análise Dos Seus Fundamentos E Práticas Pedagógicas*, Educ. Pesqui., vol. 41, pp. 713-728.

Filho, M. P. de Souza & Caluzi, J. J. (2009). *Sobre As Experiências Relativas À Imantação Do Ferro E Do Aço Pela Ação Da Corrente Voltaica: Uma Tradução Comentada Do Artigo Escrito Por François Arago*, Revista Brasileira de Ensino de Física, vol. 31.

Fiolhais, Carlos (2015). *Curiosidade Apaixonada*, Editora Gradiva.

Fiolhais, Carlos & António José Ferreira & Bernardete Constantino & Carlos Portela & Fernanda Braguez & Graça Ventura & Rogério Nogueira & Sérgio Rodrigues (2013). *Metas Curriculares Do 3ºCiclo Do Ensino Básico, Para As Ciências Físico-Químicas*, Ministério da Educação e Ciência.

Fiolhais, Carlos *et al* (2008). *Actas Do Colóquio Internacional, António Gedeão & Rómulo De Carvalho, Novos Poemas Para O Homem Novo*, Edições ISMAI.

Fiolhais, Carlos & Isabel Festas & Helena Damião & António José Ferreira & Fernanda Braguez & Maria Goreti Matos & Sérgio Rodrigues (2014). *Metas Curriculares De Química Do 12ºAno*, Ministério da Educação e Ciência.

Fiolhais, Carlos & Isabel Festas & Helena Damião & António José Ferreira & Fernanda Braguez & Maria Goreti Matos & Sérgio Rodrigues & Carlos Portela & Graça Ventura & Rogério Nogueira (2014). *Programa De Física E Química A do 10º E 11.ºAnos*, Ministério da Educação e Ciência.

Fiolhais, Carlos & Jorge Valadares & Luís Silva & Vítor Duarte Teodoro (1995). *Física, 12.ºAno, Manual De Actividades*, Didáctica Editora.

Formosinho, Sebastião (1987). *Heurística Para O Ensino Da Química*, Revista Portuguesa de Química, vol. 29, pp.1-4.

Formosinho, Sebastião (2007). *Nos Bastidores Da Ciência 20 Anos Depois*, Imprensa da Universidade de Coimbra.

Formosinho, Sebastião & Víctor Gil & J. J. C. Teixeira Dias & A. Correia Cardoso (1987). *Química Para Ti – 8.ºAno*, Livraria Minerva.

Forster, Stephan (2009). *Methods Of Teaching Chemistry*, Global Media.

Francis, F. J. (1989). *Food Colorants: Anthocyanins*, Critical Review of Food Science and Nutrition, v. 28, pp. 273-314.

Frazer, M. J. & M. Selvaratnam (1982). *Problem Solving In Chemistry*, London: Heinemann Educational Books.

Galili, I. & Kaplan, D. (1997). *Changing Approach To Teaching Electromagnetism In A Conceptually Oriented Introductory Physics Course*, American Journal of Physics, vol. 65(7), pp. 657-667.

Gard, Roger Martin du (2001). *Os Thibault (Vol. V)*, Editora Globo.

Gedeão, António (1982). *Poesias Completas*, Sá da Costa Editora.

Gomes, Carlos Sousa *et al* (2017). *Perfil Dos Alunos À Saída Da Escolaridade Obrigatória*, Ministério da Educação.

Gomes, Mário (2019). *O Teu Smartphone É Um Laboratório Móvel! O Uso Das Novas Tecnologias No Ensino Da Física*, Projeto de investigação Educacional em Física, Universidade de Coimbra.

Gonçalves, Neide & Dargam, Tânia (2015). *A Lei De Faraday: Uma Experiência Do Laboratório De Física Da Escola Naval*, Revista de Villegagnon, 27-31, 2015.

Greco, I. M. & Moreira, M. A. (1998). *Modelos Mentales Y Aprendizaje De La Física En Electricidad Y Magnetismo*, Enseñanza de las Ciencias, vol.16(2), pp. 289-304.

Griffith, David A. (1999). *Physics Labs With Computers, Volume 2: Teacher's Guide*, PASCO Scientific.

Guedes, Manuel Vaz (2001). *Léon Foucault: Um Eletrotécnico Percursor*, Departamento de Física, Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade do Porto, Comemorações dos 150 Anos do Pêndulo de Foucault.

Güere, Carlos Gamarra & Adolfo La Rosa-Toro Gómez (2014). *Decoloración Del Anaranjado De Metilo Empleando El Sistema Fenton*, Rev. Soc. Quím. Perú, vol.80.

Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & Ceberio, M. (1999). *Students' Ideas About The Source Of Magnetic Field*, Proceedings of the Second International Conference of the European Science Education Research Association, pp. 89-91.

Guisasola, Jenaro & José M. Almudí & José L. Zubimendi (2004). *Difficulties In Learning The Introductory Magnetic Field Theory In The First Years Of University*, Science Education, vol. 88, pp. 443-464.

Hawking, Stephen & Mlodinow, Leonard (2011). *O Grande Desígnio*, Editora Gradiva.

Hernández, Miguel (2010). *El Rayo Que No Cesa*, Alianza.

Hessel, Roberto & Freschi, Agnaldo & Santos, Francisco dos (2015). *Lei De Indução De Faraday: Uma Verificação Experimental*, Revista Brasileira de Ensino de Física, v. 37.

Hopkins, M. Monroe (1907). *Experimental Electrochemistry*, D. Van Nostrand Company, New York.

Johnstone, A. H. (1993). *The Development Of Chemistry Teaching: A Changing Response To Changing Demand*, Journal of Chemical Education, vol. 70(9), pp. 701-705.

Johnstone, A. H. & J. B. Wham (1982). *The Demands Of Practical Work*, Education in Chemistry, vol. 2, pp. 71-73.

Jones, Loretta & Peter Atkins (2000). *Chemistry, Molecules, Matter, And Changes*, W. H. Freeman and Company, New York.

Kermen, Isabelle (2015). *Apprentissage Des Mots Et Des Signes De La Chimie: Difficultés, Ambiguïtés, Obstacles*, Laboratoire de Didactique André Revuz, Université Paris Diderot e Université d'Artois, JIREC.

Kerr, J. F. (1963). *Practical Work In Science School: Na Account Of An Inquiry Into The Nature And Purpose Of Practical Work In School Science Teaching In England Ana Wales*. Leicester University Press.

Kingman, Robert & S. Clark Rowland & Sabin Popescu (2002). *An experimental Observation Of Faraday's Law Of Induction*, American Journal of Physics, vol. 70, pp. 595-598.

Kodama, Kazuto (2009). *A Simple Demonstration Of A General Rule For The Variation Of Magnetic Field With Distance*, Physics Education, pp. 276-280.

Koliopoulos, Dimitris & Dossis, Sotiris & Stamoulis, Efthymios (2007). *The Use Of History Of Science Texts In Teaching Science: Two Cases Of An Innovative, Constructivist Approach*, The Science Education Review, vol.6.

Koudelkova, V. & Dvorak, L. (2014). *High Schools Students' Misconceptions In Electricity And Magnetism And How To Diagnose Them*, ICPE-EPEC 2013 Conference Proceedings. Prague.

Kuhn, J. & Vogt, P. (2015). *Smartphones & Co. In Physics Education: Effects Of Learning With New Media Experimental Tools In Acoustics*, Palgrave Macmillan, London.

Kuhn, J. & Vogt, P. (2013). *Smartphones As Experimental Tools: Different Methods To Determine The Gravitational Acceleration In Classroom Physics by Using Everyday Devices*, European Journal of Physics Education, vol.4, pp.16-27.

Kustus, M. B. (2016). *Assessing The Impact Of Representational And Contextual Problem Features On Student Use Of Right-Hand Rules*, Physical Review Physics Education Research, vol. 12, pp. 1-22.

Le Maréchal, Jean-François (2010). *L'Enseignement De La Chimie A L'Aide De L'Histoire Des Sciences Obstacles Et Approche Nouvelle*, Actes du congrès de l'Actualité de la recherche en éducation et en formation, Université de Genève.

Leinhardt, Gaea & Orit Zaslavsky & Mary Kay Stein (1990). *Functions, Graphs, And Graphing: Tasks, Learning, And Teaching*, Review of Educational Research, vol. 60, pp. 1-64.

Levi, Primo (1998). *O Sistema Periódico*, Editora Gradiva.

Lewin, Walter & Warren Goldstein (2016). *A Paixão Da Física*, Editora Gradiva.

Liao, Sen-Bem & Peter Dourmashkin & John Belcher (2011). *Introduction To Electricity And Magnetism*, MIT 8.02 Course Notes, Pearson .

Maarouf, A. & Benyamna, S. (1997). *La Construction Des Sciences Physiques Par Les Représentations Et Les Erreurs: Cas Des Phénomènes Magnétiques*, Didaskalia, vol.11, pp. 103-120.

Locke, John (2019). *Alguns Pensamentos Sobre Educação*, Edições 70.

Malacrida, Cassia & Silvana da Motta (2006). *Antocianinas Em Suco De Uva: Composição E Estabilidade*, B. CEPPA, Curitiba, vol. 24, pp. 59-82.

Malvino, Albert Paul (2000). *Princípios De Eletrônica*, McGraw-Hill.

Março, Paulo & Ronei Poppi & Ieda Scarminio (2008). *Procedimentos Analíticos Para Identificação De Antocianinas Presentes Em Extratos Naturais*, Química Nova, vol. 31, pp. 1218-1223.

Martinez-Jimenez, P. & Pontes, E. (2001). *Electrods: Development Of An Educational Software For Simulations In Electrostatics*, In R. Pinto, & S., 2000, Surinach (Eds.), *Physics Teacher Education Beyond*, Paris: Elsevier, pp. 677-679.

Martins, José Vagos Carreira (1995). *Electricidade-2, 10.ºAno*, Plátano Editora.

Matthews, M., (1995). *História E Filosofia Da Ciência: A Tendência Atual De Reaproximação*, Caderno Catarinense de Ensino de Física, vol.12, pp. 164-214.

Mauk, H. V. & Hingley, D. (2005). *Student Understanding Of Induced Current: Using Tutorials In Introductory Physics To Teach Electricity And Magnetismo*, American Journal of Physics, vol. 73, pp. 1164-1171.

Mayer & Varaksina, E. I. (2017). *Experimental Confirmation Of Lenz's Law*, Physics Education, vol. 52.

Meneses, J. A. & Caballero, M. C. (1995). *Secuencia De Enseñanza Sobre El Electromagnetismo*, Enseñanza de las Ciencias, vol.13(1), pp. 36-45.

Michelsen, Claus (2017). *Hans Christian Ørsted, Narratives, Oeuvres And Physics Education*, Physics Education, vol.52.

Oersted, H. C. (1820). *Experiments On The Effect Of A Current Of Electricity On The Magnetic Needle*, Annals of Philosophy, vol.16, pp. 273-277.

Oki, Maria da Conceição Marinho (2009). *Controvérsias Sobre O Atomismo No Século XIX*, Química Nova, vol. 32, pp. 1072-1082.

Ordine, Nuccio (2017). *A Utilidade Dos Saberes Inúteis*, Fundação Francisco Manuel dos Santos.

Özdemir, Erdoğan & Mustafa Coramik (2018). *Reasons Of Student Difficulties With Right-hand Rules In Electromagnetism*, Journal of Baltic Science Education, vol. 17, pp. 320-330.

Pessanha, Pâmella Jane Ribeiro, (2017). *A Fotografia Na Escola: Um Olhar Interdisciplinar Entre A Física, A Química E A Biologia*, Campos dos Goytacazes – RJ.

Peters, P. C. (1984). *The Role Of Induced emf's In Simple Circuits*, American Journal of Physics, vol. 52(3), pp. 208–211.

Piaget, Jean (2006). *Psicologia E Pedagogia*, Forense Universitária.

Phillips, Jeffrey A. & Sanny Jeff (2008). *The Biot-Savart Law: From Infinitesimal To Infinite*, The Physics Teacher, vol. 46.

Polya, G. (1957). *How To Solve It: A New Aspect Of Mathematical Method*, Princeton University Press.

Prastyaningrum, Ihtiari & Jeffry Handhika (2017). *Development Of Smartphone e-Modul By Problem Solving Method For Biot-Savart Theory*, Journal of Physics.

República Portuguesa, Educação (2018). *Aprendizagens Essenciais /Articulação Com O Perfil Do Aluno*, Ministério da Educação.

Rieber, L. P. (2002). *Supporting Discovery-Based Learning With Simulations*. Invited presentation at the International Workshop on Dynamic Visualizations and Learning, Knowledge Media Research Center, Tubingen, Germany. Disponível em <http://www.iwm-kmrc.de/workshops/visualization/rieber.pdf>.

Ricketti, Berke (2015). *Magnetostatics And The Biot-Savart Law*, Heriot Watt University, School of Engineering and Physical Sciences.

Rodrigues, M. Margarida & Fernando Morão Lopes Dias (2004). *Física Na Nossa Vida, 11.º Ano*, Porto Editora.

Romey, W. D. (1968). *Inquiry Techniques For Teaching Science*, NJ. Prentice Hall.

Rossing, T. D. (1995). *Magnetic Force And Fields: A Note On Terminology, Definitions And Pedagogy*, American Journal of Physics, vol. 63, pp. 957-958.

Ruiz, Michel J. & Berls, Rob (2018). *Lenz's Law With Aluminum Foil And A Lengthwise Slit*, Physics Education, vol.53.

Sá, Maria de (1999). *Física – 12.ºAno*, Texto Editora.

Sağlam, M. & Millar, R. (2006). *Upper Higher School Students' Understanding Of Electromagnetism*, International Journal of Science Education, vol. 28, pp. 543-566.

Salles, F. (2004). *Breve História Da Fotografia*. Disponível em <http://www.mnemocine.com.br/fotografia/histfoto2.htm>

Sanger, Michael James (1996). *Identifying, Attributing, And Dispelling Student Misconceptions In Electrochemistry*, Iowa State University.

Seroglou, F. & Panagiotis, K. & Vassilis, T. (1998). *History Of Science And Instructional Design: The Case Of Electromagnetism*, Science and Education, vol.7, pp. 261-280.

Simões, Teresa Sobrinho, et al (1995). *Técnicas Laboratoriais De Química*, Bloco II, Porto Editora.

Singh, Avinash & Y. N. Mohapatra & Satyendra Kumar (2002). *Electromagnetic Induction And Damping: Quantitative Experiments Using A PC Interface*. American Association of Physics Teachers.

Smith, Glenn S. (2017). *Joseph Henry's Role In The Discovery Of Electromagnetic Induction*, European Journal of Physics Education, vol. 38 (18).

Snelder, M. & J. T. van der Veen (2014). *High School Student's Understanding Of Magnetism*, University of Twente Student Theses.

Solbes, J & Traver, M. (2003). *Against A Negative Image Of Science: History Of Science And The Teaching Of Physics And Chemistry*, Science & Education, vol.12, pp. 703-717.

Sousa, Pais de (1997). *Forças E Campos Magnéticos*, Universidad de Aveiro.

Souza, C. E. R. & Neves, J. R. (2009). *Manual De Fotografia Com Latas*. Disponível em http://www.cientec.usp.br/atracoes/manual_de_fotografia_com_latas.pdf.

Spiegel-Rosing & Price (1977). *Science, Technology and Society, A Cross-disciplinary Perspective*, Beverly Hills, CA, Sage.

Teixeira, Clementina (2000). *Os Cristais No Ensino E A Divulgação Da Química*, Colóquio Ciências, Fundação Calouste Gulbenkian, vol.25, pp. 18-36.

Thompson, Frank (2010). *Coupled Coils, Magnets And Lenz's Law*, Physics Education, vol.45, pp. 173-177.

Thong, Wai Meng & Richard Gunstone (2008). *Some Student Conceptions Of Electromagnetic Induction*, Research in Science Education, vol. 38, pp. 31-44.

Turguéniev, Ivan (2008). *Pais E Filhos*, Relógio d'Água.

Velazco, S. (1998). *El Campo Electromagnético En La Enseñanza Y El Aprendizaje De La Física*, Universidad Nacional de Tucumán.

Vigotski, L. S. (2001). *A Construção Do Pensamento E Da Linguagem*, Martins Fontes, São Paulo.

Voutsina, Lambrini & Ravanis, Konstantinos (2011). *History Of Physics And Conceptual Constructions: The Case Of Magnetism*, Themes in Science & Technology Education, vol. 4(1), pp. 1-20.

Wesson, Guimarães & Maria Alves & Nelson Filho (2012). *Antocianinas Em Extratos Vegetais: Aplicação Em Titulação Ácido-base E Identificação Via Cromatografia Líquida/Spectrometria De Massas*, Química Nova, vol.35.

Whittaker, E. T. (1951). *A History Of The Theories Of Aether And Electricity*, vol.1, The Classical Theories, New York: Tomash Publishers, American Institute of Physics.

