



Universidade Nova de Lisboa
Faculdade de Ciências e Tecnologia
Departamento de Física

Construção e Utilização de Equipamentos de Baixo Custo para Ensino de Física

**Por: Carlos Jorge Gomes Barranha Lima da Cunha
(Licenciado)**

Dissertação apresentada na Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa para obtenção do grau de Mestre em Física Laboratorial, Ensino e História da Física.

Orientadores: Professor Orlando Teodoro e Professor Vítor Teodoro

Lisboa

2008

À minha mulher e à minha filha pelo tempo que lhes roubei para poder elaborar este trabalho.

Agradecimentos

Um trabalho com esta dimensão, quer científica, quer temporal, seria de todo impossível sem a contribuição de um sem número de pessoas e entidades, às quais não posso deixar de agradecer.

Desde logo à Maria do Carmo, pela força, compreensão e carinho que me dispensou e que me ajudaram a retomar o caminho sempre que este se apresentava menos claro.

Aos meus orientadores, Professor Orlando Teodoro, pelo apoio e confiança demonstrados ao longo da fase experimental do trabalho, pelos ensinamentos que me deu e me permitem hoje olhar “sem medo” para os aparelhos do laboratório de electrónica; Professor Vítor Teodoro, pelo constante apoio, disponibilidade, confiança e todos os ensinamentos que me tem dado desde o estágio integrado até aos dias de hoje, que me têm permitido ser melhor ao serviço dos meus alunos, e que pelas suas sugestões permitiram que este trabalho chegasse a bom porto.

À minha colega e amiga Filipa Silva, pelo apoio e força dadas, pelas horas que levou a ler, fazer sugestões e dar ideias, pela forma com fomos trabalhando ao longo destes dois anos, impedindo-nos mutuamente de desanimar.

À minha escola, em especial ao Presidente do Conselho Executivo, pelo apoio dado quer em termos pessoais, quer possibilitando horários que permitissem as deslocações à Faculdade.

Finalmente, ao Bruno, ao Luís e ao senhor Mesquita, pela ajuda pronta durante as actividades no Laboratório da faculdade.

A todos aqueles que de algum modo contribuíram para este estudo e que não foram referidos, para eles deixo aqui também uma palavra de apreço e estima de igual intensidade.

“A inclusão dos Trabalhos Práticos de Física no programa do ensino liceal não foi determinação vazia de sentido mas desejo de eliminar uma deficiência considerada grave”(Carvalho, 1947)

Resumo

O trabalho experimental tem vindo a alcançar um lugar de relevo nos currículos de Ciências de diversos Países, o que está a alterar a concepção do papel do laboratório na escola. Este deixa de ter um papel meramente ilustrativo e confirmatório da aprendizagem de alguns conceitos, para ser o centro do processo de ensino e aprendizagem.

No entanto, a implementação dos diversos trabalhos experimentais enfrenta frequentemente limitações de equipamentos, quer porque os indicados nos manuais não existem na escola e apresentam preços de comercialização proibitivos para os orçamentos das escolas, quer porque o seu manuseamento é demasiado complexo e elaborado para ser utilizado pelos alunos.

Nesta dissertação, são analisados alguns equipamentos feitos com materiais do dia-a-dia, bem como alguns que podem ser adquiridos a preços baixos, sendo feita referência a actividades que os integram, podendo por isso ter um elevado efeito motivacional na aprendizagem das ciências.

Apresentam-se ainda diversos equipamentos utilizáveis no ensino da Física, e que podem ser construídos pelos professores, nas suas escolas, e pelos alunos, na modalidade de trabalho de projecto, por exemplo, integrando a área curricular não disciplinar de Área de Projecto, no 12.º ano. Para além da simplicidade de construção, estes equipamentos apresentam custos finais muito acessíveis e resultados experimentais muito bons, quando comparados com os obtidos por equipamentos comerciais, muito mais caros.

Abstract

Experimental work has been taking a great importance in Science *curricula* in several countries. This fact is now changing the conception of the role of the laboratory in the classroom. This role no longer seen as an instrument to illustrate or confirm some concepts but became the essential place of the learning process in Science.

However, the implementation of several experimental procedures frequently faces equipment limitations, whether because those indicated in textbooks do not exist in schools due to prohibitive costs for most school budgets, or because their use is far too complex to be done by students.

In this dissertation, a few examples of experimental equipment, made with day-to-day supplies is analyzed, as well as those that can be acquired at low prices and might have high positive effect in the Science learning process.

We also discuss some relevant equipment in the teaching of Physics that can be created by teachers and students in schools, as part of curricular or non curricular subject areas such as “Área de Proyecto” in the twelfth grade. These equipments, easy to conceive and produce with reasonable costs resources, when compared to the commercial equipment, which are much more expensive, presents very good experimental results.

Índice Geral

Agradecimentos	3
Resumo.....	5
Abstract	6
Índice de Figuras	8
Índice de Tabelas	10
Índice de Gráficos	11
1. Introdução	12
2. Enquadramento teórico	14
2.1. Ensino Experimental de Ciências	16
2.2. Metodologia da Resolução de Problemas	21
2.3. Trabalho de Projecto	24
3. Equipamentos Low Tech.....	26
3.1. Física com uma Garrafa de PET	26
3.2. A Física com Equipamentos Simples das “Lojas Chinesas”	45
4. Equipamentos High Tech.....	55
4.1. Efeito Fotoeléctrico.....	55
4.2. Transmissão de Som por Fibra Óptica.....	69
4.3. Receptor de Infravermelhos.....	80
4.4. Sonómetro	87
5. Conclusões e Sugestões.....	96
Referências Bibliográficas	99

Índice de Figuras

Figura 1 – Aula Experimental de Física	20
Figura 2 - Sequência de montagem de uma balança	28
Figura 3 - Sistema para fazer rotação, em repouso.....	29
Figura 4 - Sistema em rotação se haver perda de água.....	29
Figura 5 - Preparação da garrafa para a actividade iii).....	30
Figura 6 - Sistema de rotação recorrendo a um berbequim eléctrico.....	31
Figura 7 - Preparação da garrafa.....	32
Figura 8 - formas da plasticina a colocar na água.....	32
Figura 9 - Esquema do barómetro.....	33
Figura 10 - Termómetro de água.....	34
Figura 11 - Estrutura do simulador de submarino.....	36
Figura 12 - Possibilidades de "mergulhadores".....	37
Figura 13 - Funcionamento do sistema do "mergulhador".....	37
Figura 14 - Esquema do Farol de Mar.....	38
Figura 15 - Fatia de batata sem e com os "estabilizadores" fixados.....	39
Figura 16 - Aspecto final do sistema.....	40
Figura 17 - Foto da montagem.....	40
Figura 18 - Montagem para actividade envolvendo a expressão de Bernoulli.....	42
Figura 19 - Grandezas a medir antes do escoamento da água.....	43
Figura 20 - Gráfico obtido a partir das medições com o sensor de posição.....	43
Figura 21 - Multímetro adquirido num estabelecimento chinês.....	46
Figura 22 - Multímetro utilizado num circuito com uma pilha de limão	47
Figura 23 - Preço e modelo do multímetro adquirido	47
Figura 24 - Lanterna de indução por agitação	48
Figura 25 - Árvore de Natal de fibra óptica	49
Figura 26 - Iluminação reflectida no interior da fibra óptica	50
Figura 27 - Emissor laser com lanterna.....	51
Figura 28 - Emissor laser com lanterna, ambos a emitir.....	51
Figura 29 - Esquema da utilização de um laser.....	52
Figura 30 - Bola de Plasma	52
Figura 31 - Bola ou Globo de Plasma.....	53
Figura 32 - Lâmpada fluorescente acesa pelo campo eléctrico não uniforme.....	53
Figura 33 - Esquema da montagem para estudo do efeito fotoeléctrico	57
Figura 34: Célula fotossensível da Hamamatsu	58
Figura 35 - Peça de encaixe dos LED's (Planta e alçado).....	58
Figura 36 - Dispositivo para efeito fotoeléctrico.....	59
Figura 37 - Circuito da fotocélula.....	60
Figura 38 - Circuito dos LEDs emissores.....	60
Figura 39 - Equipamento para Efeito Fotoeléctrico	61
Figura 40- Espectrómetro PS-2635 da PASCO.....	67
Figura 41 - Esquema da refração de um feixe luminoso.....	70
Figura 42 - Representação do circuito eléctrico do dispositivo emissor de som.....	72

Figura 43 - Placa com pistas de cobre	72
Figura 44 - Fotografia da placa do sistema emissor de som.....	73
Figura 45 - Sistema emissor de som por fibra óptica	73
Figura 46 – Reflexões totais que ocorrem numa fibra óptica.....	74
Figura 47 - Circuito de amplificação baseado no componente LM386.	74
Figura 48 - Esquema do sistema completo, incluindo emissor e receptor	75
Figura 49 - Sensor de corrente e de tensão, que permite medir e registar a variação ao longo do tempo	77
Figura 50 – Iluminação das pontas das fibras ópticas, verificando a transmissão da luz ao longo das mesmas.	78
Figura 51 - Comandos remotos	80
Figura 52 - Esquema do emissor de infravermelhos (Projects, 2008).....	81
Figura 53 - Esquema do circuito para o detector de IV	82
Figura 54 - Interior do aparelho detector de radiação IV	82
Figura 55 - Aparência exterior do aparelho detector de radiações IV.....	83
Figura 56 - Dados recolhidos pelo sensor de tensão do GLX da PASCO.	84
Figura 57 - Sinal registado quando se pressiona repetidas vezes a tecla assinalada.	84
Figura 58 - Sonómetro em condições de funcionamento.	89
Figura 59 - Esquema electrónico do Sonómetro.	90
Figura 62 - Esquema da localização dos acessórios no circuito impresso.	91
Figura 64 - Interior do Sonómetro após a montagem de todos os acessórios.	92
Figura 65 - Tabela de pressão sonora, em dB.....	94

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Características dos LEDs utilizados	62
Tabela 2 - Potenciais de extinção obtidos com o aparelho	62
Tabela 3 - Lista de material necessário para o aparelho do Efeito Fotoelétrico	65
Tabela 4 – Lista de material necessário para os aparelhos de emissão e recepção de som	76
Tabela 5 – Lista de material necessário para os aparelhos receptores de infravermelhos	85
Tabela 6 – Lista de material necessário para o sonómetro	93

Índice de Gráficos

Gráfico 1 - Potencial de extinção em função do inverso do comprimento de onda..... 63

1. Introdução

As estatísticas dos últimos anos relativas ao número de alunos que frequentam a disciplina de Física não deixam margem para dúvidas: tem decrescido de uma forma continuada e constante. Considerada uma disciplina demasiado difícil, essencialmente teórica e demasiado matematizada, tem afastado os jovens que podiam ter nela uma forma de desenvolver competências essenciais para a frequência de algumas licenciaturas, como por exemplo as do domínio das engenharias.

Tendo uma formação de base no domínio da Química, enveredei pelo Mestrado em Física Laboratorial porque sentia não conseguir a segurança necessária para transmitir aos meus alunos o gosto e o fascínio que sentia pela Física. Por outro lado, estive envolvido desde cedo na implementação dos novos programas de Física e Química, fazendo formação e sendo formador de professores do ensino secundário.

Durante as formações ministradas a mais de 150 docentes de Física e Química, apercebi-me que a queixa mais frequente para a deficiente implementação dos novos programas, nomeadamente da sua vertente experimental, se prendia com a falta de recursos existentes nas escolas, bem como a inexistência de orçamentos que suportassem a aquisição de novos equipamentos.

Por outro lado, verifiquei que as aulas são na maioria dos casos dadas com fortes componentes expositivas, não recorrendo os docentes a uma metodologia de ensino por observação, que permita ao aluno a visualização do fenómeno com a maior proximidade possível à realidade: recorre-se com demasiada frequência a esquemas desenhados no quadro, não se deitando mão aos recursos existentes à nossa volta.

A temática desta dissertação surgiu assim naturalmente do contexto profissional em que me encontro inserido, com o objectivo de desenvolver equipamentos simples, baratos e fáceis de manipular, de forma a reduzir ao mínimo o recurso à explicação de falta de meios para não mudar de metodologia.

Assim, após um capítulo onde se faz o enquadramento teórico do ensino experimental das ciências, faz-se a descrição, no capítulo três de um conjunto de pequenas experiências e/ou projectos, cuja base de partida são as garrafas plásticas de água ou de refrigerantes. Ainda neste capítulo, faz-se a descrição de alguns equipamentos adquiridos por baixo preço em lojas chinesas, procedendo-se ao seu enquadramento em actividades que permitem o enriquecimento experimental das aulas de Física.

No capítulo quatro procede-se à descrição de alguns equipamentos cuja tecnologia é já mais avançada, não havendo no entanto, necessidade de conhecimentos aprofundados de electrónica para se proceder à montagem dos equipamentos sugeridos. Estes aparelhos, cuja construção é relativamente barata, permitem a obtenção de excelentes resultados experimentais, se tivermos em conta a relação preço qualidade dos equipamentos. Dão-se ainda todas as informações necessárias para a montagem dos

equipamentos, desde a aquisição das peças, à apresentação de resultados obtidos. A aquisição das peças e acessórios tem a indicação do *site* onde poderão ser encontrados e adquiridos, bem como o custo associado, à data a que foi feita a consulta.

Pretende-se que, recorrendo a estes recursos entre outros, o professor consiga motivar os alunos para o estudo da Física, enquanto disciplina nuclear na formação de base de um jovem cujo objectivo é a entrada para o ensino superior numa área técnica. O envolvimento dos alunos na construção da maioria dos equipamentos, no âmbito das áreas curriculares não disciplinares como Área de Projecto, poderá aqui ter um papel importante, uma vez que o aluno se sente participante no processo de aprendizagem e de desenvolvimento de competências.

2. Enquadramento teórico

Todos os dias, em qualquer lugar, somos confrontados com acontecimentos que evidenciam as relações cada vez mais próximas e complexas que se criam e desenvolvem entre a ciência, a tecnologia e a sociedade. São relações que não podemos ignorar pois, de uma forma directa ou indirecta, influenciam o nosso modo de vida.

Assim, torna-se cada vez mais premente mostrar aos jovens, alunos das escolas, e a todos os cidadãos em geral que a ciência não é neutra, desenvolvendo neles as competências necessárias para que participem numa discussão desapassionada sobre as potencialidades e limites da ciência e da tecnologia. Só assim se pode conseguir um equilíbrio entre as vantagens, que o desenvolvimento acelerado do conhecimento científico e da tecnologia podem trazer para o Homem, e as desvantagens que lhe estão associadas, nomeadamente em termos ambientais e sociais.

Em relação às escolas, todas estas relações têm que ser conhecidas, analisadas e discutidas pelos alunos, porque só alunos cientificamente informados podem tornar-se em cidadãos socialmente responsáveis. No entanto, os sistemas educativos organizados são uma conquista recente das sociedades modernas e nem sempre têm conseguido ter uma função científica e social na formação dos cidadãos e das sociedades em que estes se inserem.

No sistema educativo português, a educação científica foi sempre pouco valorizada pelo poder político, desde que o ensino secundário foi criado em 1836 por Passos Manuel. Veja-se, por exemplo, o facto de os alunos que frequentam actualmente o ensino secundário, nos cursos genericamente denominados de humanidades, ficarem privados da discussão de temáticas socialmente tão importantes como as ambientais, as relacionadas com o esgotamento dos recursos ou com os problemas de saúde individual ou pública. A situação foi mesmo agravada durante as ditaduras que vigoraram em Portugal, de que é bom exemplo a reforma de Carneiro Pacheco, implementada durante o Estado Novo. Neste aspecto, é de salientar o esforço feito por Rómulo de Carvalho na dignificação do ensino das Ciências e na introdução do ensino experimental, no ensino da Física e da Química (Carvalho, 1947).

Nos dias de hoje, continua a não haver uma política de educação em ciência, consistente, quer ao nível da matriz curricular, quer ao nível das opções de selecção académica e da importância das suas implicações sociais. Por exemplo, no terceiro ciclo do ensino básico, as Ciências Experimentais (Física e Química) ocorrem numa aula de 90 minutos semanal, não havendo por isso, condições de continuidade das aprendizagens dos alunos; disciplinas estruturantes como a Biologia, a Química e a Física de 12º ano são disciplinas de opção, podendo o aluno optar por exemplo pela disciplina de Psicologia, Tecnologias de Informação e Comunicação ou uma Língua Estrangeira. Como consequência, sobressai, ao longo dos anos de escolaridade, a intenção que os alunos saibam ciência, mas de uma forma descontextualizada, uma vez

que não é interdisciplinar ou transdisciplinar, ficando assim desprovida do seu valor formativo, cultural e social.

Por outro lado, ainda que alguns programas se integrem no espírito do paradigma de Ciência / Tecnologia / Sociedade (CTS), a formação inicial e contínua dos professores pouco tem contribuído para desenvolver competências dentro deste paradigma, o que se reflecte no desenvolvimento da prática pedagógica e na avaliação das aprendizagens. Novamente a este propósito, recordam-se as palavras de Rómulo de Carvalho quando afirma "...como muitos se esquecem, de que as reformas nada valem sem a preparação dos que vão cumpri-las e sem a fiscalização do seu cumprimento" (Carvalho, 1947). Continua-se, assim, com um problema de desinteresse e de atitudes negativas dos alunos para com a ciência, o que poderia ser melhorado se fosse efectuada uma abordagem CTS nas aulas de Ciências, de modo a contextualizar a ciência relacionando-a com os seus problemas do dia-a-dia, isto é, com a tecnologia, a sociedade e o meio ambiente.

A este propósito, Furió e Vilches salientam mesmo que "a ausência das relações CTS no ensino tem como consequência que os alunos acabem os seus estudos tendo uma pobre imagem social da ciência e, portanto, revelem desinteresse e atitudes pouco favoráveis face à ciência e ao seu estudo".

As mais recentes alterações curriculares no Ensino Básico e Secundário deixam antever uma mudança animadora. O sistema educativo deixou de se preocupar apenas com que ciência ensinar, utilizando as mais modernas teorias pedagógicas de como ensinar ciência, o que promove o sucesso em sentido restrito, correndo o risco de promover a formação de alunos sabedores, mas socialmente incultos, dependentes e submissos, passando a ir mais longe. Na verdade, o sistema educativo começou a dar mostras de se preocupar também com o porquê ensinar ciência e para quê ensinar ciência, promovendo o sucesso de uma forma mais alargada, formando cidadãos livres e autónomos, intervenientes e cultos, portadores de um novo discurso e de novas práticas sociais, mais democráticas e humanistas. A este respeito o programa de Física e Química A afirma: "De acordo com o documento "Revisão Curricular do E. S.", a Formação Específica tem como intenção final uma consolidação de saberes no domínio científico que confira competências de cidadania, que promova igualdade de oportunidades e que desenvolva em cada aluno um quadro de referências, de atitudes, de valores e de capacidades que o ajudem a crescer a nível pessoal, social e profissional." (I. Martins et al., 2001)

Ainda na apresentação do programa afirma-se: "A educação pela Ciência tem como meta a dimensão formativa e cultural do aluno através da ciência, revalorizando objetivos de formação pessoal e social (educação do consumidor, impacto das actividades humanas no ambiente, rigor e honestidade na ponderação de argumentos...).

Um quadro curricular que contemple esta vertente está assim de acordo com o objectivo geral expresso no documento orientador do DES: a concretização da educação dos jovens para o pleno exercício da cidadania democrática." (I. Martins et al., 2001)

2.1. Ensino Experimental de Ciências

“The search for a fuller understanding of the phenomena about us, which is the process of scientific investigation, is pursued by scientists in every part of the world. Just as science itself is universal, so the quest for improved methods of teaching science is also universal.” (UNESCO, 1979)

Para muitos estudantes, o trabalho de um dia normal de aulas é ouvir, ler e escrever e só raramente, talvez duas a três vezes por semana, é que há uma mudança nessas actividades, na maioria das vezes à custa das aulas de Educação Física. Essa mudança também ocorre quando os alunos vão ao laboratório e têm efectivamente uma aula de cariz mais experimental, uma vez que aí, cooperam mais uns com os outros e entreadjudam-se mais. Deste modo, para além de um importante papel no desenvolvimento e sedimentação de conceitos de ciência, o trabalho experimental desempenha um papel fundamental no desenvolvimento de competências atitudinais e processuais, impossíveis de desenvolver no contexto de uma sala de aula normal.

Convém, desde já, um esclarecimento sobre os termos trabalho prático, trabalho experimental e trabalho laboratorial, frequentemente confundidos, quer por professores, quer por investigadores.

De acordo com Leite (Leite, Caetano, & Santos, 2001), que se baseou em trabalhos anteriores de Hodson (Hodson, 1998), todos os termos podem referir-se a actividades cujas características podem coexistir em simultâneo numa mesma actividade.

Assim, o termo “Trabalho Prático” utiliza-se em todas as situações em que o aluno está activamente envolvido na realização da tarefa ou tarefas propostas, sejam estas ou não de natureza laboratorial. A resolução de um problema baseado em dados experimentais fornecidos aos alunos, e que pode envolver algum nível de pesquisa é pois um trabalho prático.

Entende-se por “Trabalho Laboratorial” uma ou várias actividades que decorram com equipamentos específicos de laboratório, podendo decorrer num laboratório, ou noutra qualquer local. Deste modo, um trabalho laboratorial só será considerado um trabalho prático, se o mesmo for executado pelo aluno ou, pelo menos, com a sua participação activa.

Finalmente, o termo “Trabalho Experimental” aplica-se às actividades práticas e/ou laboratoriais, se implicarem a manipulação de variáveis. Assim, a execução pelos alunos de um trabalho, que pretenda estudar os factores que afectam a força de atrito, será um trabalho prático laboratorial de cariz experimental.

Fará sentido esta análise, esta distinção? Se considerarmos que o próprio termo “Ensino Experimental das Ciências” é um pleonasma, uma vez que não se vislumbra como é possível ensinar Ciências sem uma componente experimental, já que a ciência é simultaneamente, um corpo de conhecimentos e um modo de produção de

conhecimento, seria mais correcto, e porventura útil, discutir a diferença entre um ensino retórico, baseado na exposição sobretudo oral dos conceitos, e um ensino por observação, baseado no recurso a exemplos experimentais simples ou complexos, para ilustrar e demonstrar os conceitos que se pretendem transmitir.

Na verdade, é prática corrente nas escolas o recurso a desenhos, esquemas e mais recentemente, a apresentações “*powerpoint*” bidimensionais, que servem sobretudo para confundir os conceitos que se pretendem transmitir e frequentemente para reforçar concepções alternativas que os alunos possuem e que desta forma não só não são desmontadas, mas sim reforçadas. Quantos professores de Física não foram já confrontados com a questão colocada por um aluno sobre “*como é que a bola se equilibra para descer a aresta de um triângulo*”, referindo-se ao movimento ao longo de um plano inclinado. Quantos professores de Física utilizam, quando leccionam o plano inclinado, uma simples tábua com uma bola de ténis em cima, começando por referir-se à questão da inclinação do plano, medição de ângulos, medição do comprimento e da altura como forma de determinar a inclinação, utilizar um simples ponteiro para representar os vectores envolvidos, reforçando que mesmo na subida, a resultante das forças aponta para a extremidade mais baixa do plano, tendo implicações no tipo de movimento do móvel? Esta atitude está de acordo com o levantamento feito no Livro Branco da Física e da Química cujos autores, em 2002, afirmavam: “os professores dão mais atenção à aquisição de conhecimentos e factos do que ao desenvolvimento de capacidades práticas, criatividade, espírito crítico, curiosidade e autonomia da aprendizagem dos alunos. A falta de hábitos de trabalho e autonomia na aprendizagem dos alunos, do domínio das atitudes e valores, são dois dos objectivos a que os professores dão menos atenção, quando comparada com a atenção dada à aquisição de conhecimentos. As finalidades do ensino da Física e da Química relacionadas com a dimensão ciência, tecnologia e sociedade (CTS) para todos os níveis de ensino e com a História das Ideias em Física e Química para o ensino secundário e Curso Tecnológico de Química, não são atingidas por falta de tempo para cumprimento dos programas.” (A. Martins et al., 2002)

O ensino por observação permite que o aluno vá construindo uma série de subsunçores que facilitam a aprendizagem significativa de conceitos, permitindo que os novos conhecimentos sejam relacionados com os conhecimentos prévios. É assim possível ir construindo uma estrutura cognitiva complexa a partir de elementos mais simples que se vão relacionando com outros já existentes e entendidos (Ausubel, 2002).

Claro que este tipo de leccionação envolve um conhecimento muito firme dos conceitos a abordar, a sua firme contextualização e uma preparação prévia das aulas o que poderia levar horas ou até dias para se conseguirem reunir os materiais mais adequados para o fim em vista. No entanto, as vantagens que se podem tirar desta metodologia ultrapassam largamente as desvantagens inerentes à preparação e permitem abordagens de conceitos que surgem frequentemente “de pára-quadras”, como sejam o tratamento de erros e as abordagens às grandezas e métodos de medição. Faz mais sentido relativizar a dimensão do erro de um método experimental, se o aluno puder

verificar, em tempo real, que aquele erro não influenciou a observação que se pretendia, mas que se o objectivo for a determinação de um valor, a dimensão do erro a cometer terá que ser substancialmente menor, sob pena de não se chegar a qualquer valor com sentido. No entanto, este tipo de aulas é de difícil implementação em salas de aula normais, obrigando a um esforço acrescido para o transporte dos materiais necessários. Mesmo assim, nem sempre são previsíveis todas as situações que podem surgir perante o questionamento natural dos alunos, podendo o professor deparar-se com uma situação em que tem mesmo que recorrer aos “desenhos” que já foram referidos. Recorrer a meios informáticos com projecção para a turma pode obviar este problema, podendo o professor deitar mão a vários recursos de software disponíveis, para ilustrar situações que o simples desenho torna muito limitativo. Não se quer com isto dizer que a esquematização de algumas situações utilizando o quadro normal seja de eliminar ou sequer de evitar. Um bom esquema orienta o raciocínio e facilita a interpretação e sedimentação dos próprios subsunçores que se pretendem desenvolver.

A prática “retórica”, no sentido popular do termo, baseia-se na aprendizagem mecânica, o que implica que os conceitos sejam sobretudo decorados, raramente relacionados com outros, e, frequentemente, treinados até à exaustão. Como consequência, questões abertas, que exijam o relacionamento de conceitos paralelos da mesma ciência ou de ciências relacionadas (caso da Matemática em relação à Física), não são respondidas com sucesso. Na maioria dos casos, os alunos nem sabem como começar a responder, pois a questão sai do padrão mecanizado.

Muito se tem argumentado a favor e contra uma componente prática / experimental / laboratorial no ensino das Ciências. De entre os argumentos favoráveis, referem-se os seguintes (I. Martins et al., 2001):

- Permitem encontrar resposta a situações problema, fazendo a necessária ligação entre a teoria, a experiência e a exploração de resultados;
- Permitem ao aluno o desenvolvimento das competências de observação, contribuindo para o incremento da sua curiosidade;
- Permite ao aluno o desenvolvimento do seu espírito de iniciativa, da sua tenacidade e perseverança, bem como do sentido crítico;
- Permite o desenvolvimento de competências finas ao nível da medição de precisão, possibilitando a reflexão e aprendizagem no campo das ordens de grandeza e da precisão das medições efectuadas;
- Permitem que o aluno se aproprie de leis, técnicas, processos e modos de pensar.

As possibilidades aqui enumeradas, ao nível do desenvolvimento potencial do aluno, não poderão ser plenamente desenvolvidas se não forem observadas, à partida, algumas condições:

- i. O aluno deve saber o que procura e o que prever relativamente aos resultados esperados;

- ii. O aluno deve saber como executar o que é pedido e estabelecer conclusões;
- iii. Deve haver uma reflexão prévia do professor acerca do número de competências que pretende ver desenvolvidas por via experimental, para que esse desenvolvimento seja eficaz e proveitoso para o aluno;
- iv. Finalmente, é necessário garantir que os alunos compreendam adequadamente a questão ou o problema que irão resolver, antes de se iniciar qualquer percurso de experimentação.

Esta metodologia será ainda mais eficaz se o professor conseguir que os seus alunos tomem consciência de que o trabalho experimental começa muito antes de entrarem no laboratório. Isso pode ser conseguido se houver:

- Uma clarificação do tema;
- Uma discussão sobre as ideias prévias que o aluno possa ter sobre o assunto;
- Uma pesquisa de informação acerca do tema a abordar;
- Um planeamento da experiência e da identificação das grandezas a medir e das condições a usar (incluído materiais, equipamento e condições de segurança).

De uma forma muito sintética, podemos apresentar os quatro domínios principais, atribuídos às actividades práticas/ experimentais/ laboratoriais (adiante referidas apenas por trabalho experimental):

1. Melhorar a compreensão dos conceitos teóricos;
2. Funcionar como um factor motivacional;
3. Permitir o desenvolvimento de competências técnicas e experimentais;
4. Melhorar a aprendizagem da abordagem científica.

No entanto, os objectivos agora enumerados, baseiam-se em determinados pressupostos: por um lado, assume-se que o trabalho experimental funciona como factor de promoção do interesse e da motivação dos alunos pelas aulas de Ciências, bem como de uma maior compressão dos conteúdos científicos relacionados. Por outro lado, considera-se que os alunos, ao realizarem um trabalho experimental de uma forma científica, aprendem a agir como um cientista e adquirem uma abordagem científica.



Figura 1 – Aula Experimental de Física

No mundo real, e contrariamente às expectativas da maioria dos professores, existem fortes evidências de que o trabalho experimental que é muitas vezes implementado nas aulas de Ciências nem sempre contribui para que estes objectivos sejam alcançados. Esta ineficácia pedagógica das aulas experimentais prende-se com o facto de, na maioria dos casos, as “experiências” se resumirem à realização de demonstrações e/ou verificações experimentais, frequentemente realizadas pelo professor. Quando são realizadas pelos alunos são normalmente acompanhadas de uma “receita”, que centra a preocupação do aluno numa execução do seu ponto de vista correcta, para que obtenha a resposta certa. Deste modo, os alunos desconhecem o propósito da “receita” que seguem e não conhecem os conceitos que lhe estão subjacentes, ou seja, os alunos estão em contacto com os materiais e equipamentos e, eventualmente, desenvolvem competências ao nível do seu manuseamento, sendo, no entanto, discutível se conseguem desenvolver outras capacidades processuais ou aprendizagem de uma abordagem científica das situações ou, sequer, o interesse pela ciência e pela sua aprendizagem. Daí que estudos de diversos autores mostrem que grande parte dos estudantes que frequentam o laboratório não mostram ter mais conhecimentos do que aqueles que apenas tiveram contacto com experiências de demonstração, chegando mesmo à conclusão de que o conhecimento adquirido pelos alunos no laboratório é pouco profundo (Tobin, Tippins, & Gallard, 1994) citado por (Ribeiro, 1997).

Assim, os novos programas curriculares dos ensinos Básico e Secundário vêm apontar para a necessidade de uma alteração das concepções e das práticas experimentais dos docentes, no sentido da diversificação de estratégias e da criação de ambientes de aprendizagem que proporcionem o envolvimento efectivo do aluno. O trabalho experimental deve ser concebido como uma actividade de natureza investigativa, que se baseie num processo cooperativo de resolução de problemas, proporcionando situações de debate e de confronto de ideias e de saberes, conceptuais e processuais, ao nível da compreensão do problema de partida.

Os equipamentos propostos neste trabalho põem à disposição dos docentes meios relativamente acessíveis de poderem potenciar as suas aulas experimentais, quer

aquando da construção dos equipamentos, quer aquando da sua utilização em aula, seja ela prática, experimental ou laboratorial. O que se pretende é que as actividades práticas de manipulação observação e medição, sejam as ferramentas essenciais para que os alunos se possam envolver na realização das actividades experimentais propostas.

Esta mudança de práticas ao nível do trabalho experimental não se nos afigura de fácil implementação. São necessárias condições que estimulem e suportem essa mudança, de modo a que as experiências possam contribuir para a compreensão das teorias e conceitos subjacentes aos fenómenos observados e desenvolver no aluno um sentido dos fenómenos em estudo, aproximando-os da sua compreensão.

2.2. Metodologia da Resolução de Problemas

“O currículo desejável é centrado em problemas, flexível e válido do ponto de vista cultural, bem como do ponto de vista científico.” (Watts, 1989)

Numa lógica de aprendizagem por observação, a simples resolução de exercícios numa óptica de mecanização deixa de fazer qualquer sentido. Mais do que aprender a mecanizar e decorar processos de resolução, por vezes puramente aritméticos, pretende-se que o aluno possa interpretar o texto que se apresenta e resolver o problema colocado por contextualização do mesmo no âmbito dos conceitos e competências entretanto desenvolvidas. Assim, quando se está perante a resolução de um problema, estão-se a mobilizar processos cognitivos, que recorrem a habilidades e a uma atitude correcta perante esta mobilização. São três níveis (cognitivo, psicomotor e afectivo) que são utilizados para a resolução de problemas, distintos entre si. De acordo com Watts (Watts, 1989) podem enumerar-se os seguintes processos cognitivos:

- Comunicar e discutir, que inclui processos como a capacidade para questionar, pensar, negociar, prestar atenção;
- Processar informação, que inclui a capacidade de seleccionar, usar relações, conceber estratégias, tirar conclusões;
- Resolver problemas, experimentar e tomar decisões, que inclui a capacidade de prever resultados, interpretar, formular hipóteses, modelar, avaliar, gerir o tempo.

Relativamente às habilidades necessárias para a resolução de problemas, o mesmo autor refere as seguintes, todas do domínio psicomotor:

- Prestar atenção, ler, falar, comunicar não verbalmente;
- Traçar, numerar, medir, manipular, fazer e interpretar gráficos;
- Trabalhar em grupo, memorizar, observar.

Finalmente, no domínio afectivo, destacam-se as seguintes atitudes necessárias à resolução de problemas:

- Abertura, autocrítica, responsabilidade;
- Independência, perseverança, cooperação, cepticismo;
- Desejo de ser informado, respeito.

Estes processos são, ainda de acordo com aquele autor, internos ao indivíduo, sendo por conseguinte, apenas acessíveis por observação indirecta. São no entanto, passíveis de serem ensinados, o que pode melhorar a aprendizagem.

Um facto parece ser indiscutível: a metodologia de resolução de problemas não deve ser confundida com uma metodologia de aprendizagem por descoberta. Na resolução de problemas, o professor tem um papel fundamental enquanto balizador dos raciocínios e dos caminhos por onde enveredam os alunos, para que estes não se percam nem se dispersem em demasia, o que acontece com frequência quando se tem a veleidade de pensar que o aluno consegue descobrir os conceitos autonomamente. No contexto de um ensino por observação, o aluno pode passar do concreto ao abstracto, uma vez que já desenvolveu os subsunçores necessários à compreensão cognitiva do problema a resolver. Pode ainda, recorrendo aos diversos processos acima descritos, ser ajudado a desmontar as concepções alternativas que possui sobre os mais diversos fenómenos, o que lhe retira (ou diminui) os obstáculos à incorporação de conceitos estruturantes, fundamentais para a passagem à resolução de problemas muito mais abstractos.

Alguns autores, como por exemplo Hayes (Hayes, 1981), referem que haverá quatro métodos gerais de abordagem de um problema:

- **Tentativa e erro** – Neste método, não se observa a globalidade do problema, mas sim para partes do mesmo, fazendo tentativas de exploração / resolução, antes mesmo de o perceber na globalidade;
- **Aproximações** – Neste caso, são feitas aproximações iniciais bastante drásticas, a que se seguem sucessivas aproximações cada vez mais próximas da realidade;
- **Divisão em partes** – Utilizando este método, o problema é dividido em diversas partes sendo cada parte resolvida de cada vez;
- **Uso do conhecimento** – Faz-se uso extensivo de todos os conhecimentos adquiridos e da experiência na resolução de outros problemas.

Estas abordagens e esta metodologia estão, na verdade, intimamente relacionadas com o trabalho experimental já referido anteriormente. O trabalho experimental é uma actividade que, para além do conhecimento conceptual, necessita do conhecimento processual para ser implementado. Na realidade, pode promover aqueles conhecimentos. No entanto, Ogborn (2006) refere ser um lugar-comum a expressão que o aluno aprende fazendo. Ressalva que a aprendizagem não se resume ao “fazer”. A

aprendizagem envolve pensar nos assuntos, antes durante e após o fazer. Nesta linha, a metodologia de resolução de problemas aplicada ao trabalho experimental, vem ajudar a consolidar a aquisição de conhecimentos e desenvolvimento de competências. Nesta perspectiva, o trabalho experimental envolve as seguintes etapas, do ponto de vista processual:

- Reformulação do problema, incluindo a formulação de hipóteses fundamentadas, incluindo uma pesquisa sobre os métodos experimentais disponíveis e a sua possibilidade de execução na escola;
- Planeamento do trabalho experimental que permitirá verificar as hipóteses, o que envolve a listagem do material / equipamento necessários e o estabelecimento de normas e regras de segurança a observar durante a execução do trabalho;
- Implementação do trabalho planificado, recolha de dados e o seu registo adequado. Nesta fase pode ser necessária uma reformulação da metodologia escolhida na fase de planeamento se se verificar que não é adequada à grandeza das grandezas a medir. A estrita observação das normas e regras de segurança, estabelecidas na fase anterior, é aqui essencial;
- Interpretação dos dados recolhidos, tirando conclusões e tendo por referência o problema e as hipóteses formuladas. O tratamento das incertezas pode revelar-se essencial para o estabelecimento de conclusões devidamente fundamentadas. Por outro lado, é nesta fase que se requer um maior domínio conceptual, mas também uma maior capacidade de passar do concreto para o abstracto;
- Avaliação dos resultados e dos métodos utilizados. Esta fase pode implicar uma reformulação total do trabalho experimental e o regresso à fase inicial. A avaliação de todo o trabalho mostra-se imprescindível ao desenvolvimento das competências nos domínios cognitivo e afectivo, especialmente ao nível da capacidade de tirar conclusões e de autocrítica.

Esta é, pois, uma metodologia que permite o desenvolvimento integrado das aprendizagens, funcionamento como forma facilitadora desse mesmo desenvolvimento. Reforça-se que esta metodologia é completamente antagónica com metodologias retóricas de ensino. No livro branco da Física e da Química (A. Martins et al., 2002), refere-se que a maioria dos docentes que participou no estudo efectuado declara que a Resolução de Exercícios é a metodologia mais frequentemente utilizada nas suas aulas, logo seguida da Resolução de Problemas e da Exposição pelo Professor. Faz-se ainda a ressalva de que por Resolução de Problemas se deve entender resolução de exercícios. Dá-se pois primazia ao ensino retórico e mecanizado, não havendo da parte dos professores o entendimento da diferença entre a resolução de exercícios e a resolução de um problema. Esta situação ainda perdura na maioria das escolas, apesar dos novos programas quer do ensino básico, quer do secundário, apontarem já para uma metodologia de ensino / aprendizagem mais centrada no aluno. Isto está, de resto, de acordo com o que afirma **Ogborn** (2006), relativamente à lentidão que as mudanças levam a ser totalmente implementadas no sistema educativo, na ordem das décadas. De

tal forma que uma inovação passa a ser encarada como uma “alternativa tolerada”, em vez de passar a ser o sistema.

2.3. Trabalho de Projecto

“Se o professor ajudar demais, nada restará ao aluno para fazer. O professor deve auxiliar, nem de mais nem de menos, mas de tal modo que ao estudante caiba uma parcela razoável do trabalho” (Polya, 1945)

Pode definir-se Trabalho de Projecto como um modelo que organiza a aprendizagem em torno do desenvolvimento de projectos. Os projectos são constituídos por tarefas mais ou menos complexas, baseadas em questões ou problemas desafiadores, em cuja resolução os alunos se envolvem utilizando metodologias de resolução de problemas, tomada de decisão, actividades de investigação e de dimensionamento. Esta metodologia dá aos alunos uma oportunidade de trabalharem de uma forma autónoma em períodos de tempo dilatados. Culminam num produto final real ou numa apresentação tão próxima da realidade quanto possível (Jones, Rasmussen, & Moffit, 1997), (J. Thomas & Mergendoller, 1999) citados por (John Thomas, 2000).

Em termos de finalidades, a metodologia de trabalho de projecto pretende a integração das aprendizagens disciplinares do aluno e das competências que o aluno desenvolveu até à data de implementação. O desenvolvimento de competências interdisciplinares é, assim, potenciado e as aprendizagens feitas em diversas áreas disciplinares passam a fazer sentido, porque são utilizadas de uma forma natural e integrada. Esta metodologia caracteriza-se por ser desenvolvida em grupo, com uma forte componente de pesquisa, por dinamizar a relação teoria – prática e por pretender produzir conhecimentos sobre os temas em estudo ou intervir sobre problemas identificados. Enquanto processo dinâmico, nunca se encontra numa fase definitiva e encerrada, procurando perspectivar alternativas ou intervir para resolver questões concretas.

O desenvolvimento do projecto pressupõe uma calendarização efectuada quando da proposta inicial, da qual surge uma planificação flexível, passível de ser alterada e / ou ajustada em qualquer momento da implementação do projecto. Esta replanificação pode ser imposta quer pela evolução da pesquisa, quer pela necessidade de reavaliar os objectivos, frente aos resultados dessa pesquisa, quer, numa fase de implementação, à implementação de dificuldades e impedimentos tecnológicos que impliquem uma alteração de estratégia.

Com esta metodologia, pretende-se introduzir uma dinâmica integradora e de síntese entre a teoria e a prática. Na verdade, a metodologia de trabalho de projecto serve de integradora das metodologias antes descritas: trabalho experimental e resolução de problemas. Na realidade, a implementação de um projecto passa por uma fase de investigação de forma a abordar a resolução de um problema, após o que se passa à fase de experimentação para validar ou não as hipóteses colocadas na resolução do problema. Deste modo, a teoria surge como uma necessidade da prática, tal como a

prática é uma exigência para confrontar a teoria, naquilo que se torna um processo interactivo, minimizando ou anulando a separação tradicional entre o saber e o saber fazer. Este processo integra os conhecimentos que o aluno já possui, mas desencadeia a aquisição de novos conhecimentos e a realização de diversas experiências. Desta forma, dá-se sentido social e humano aos conhecimentos teóricos adquiridos uma vez que a teoria ajuda a sedimentar as explicações avançadas para sustentar a maioria das observações experimentais.

Neste aspecto, o professor altera completamente o seu papel tradicional em relação ao aluno: passa a ser um recurso permanente, um orientador, pacificador de conflitos entre os elementos do grupo de trabalho. O espaço de trabalho é um local onde o professor deve saber esperar o melhor momento para intervir, funcionando como balizador de tomadas de decisão, evitando que os alunos se dirijam para caminhos sem saída que podem desmotivar o grupo de trabalho. Da mesma forma, é responsável por certificar as aprendizagens que os alunos vão desenvolvendo, fazendo as necessárias ligações entre os conceitos teóricos e o trabalho prático do projecto.

Finalmente, o professor funciona como o agente facilitador das condições logísticas necessárias à implementação do projecto. Assim, será necessário o acesso a formas de pesquisa e de recolha de dados, acesso a materiais de uso corrente para a construção da apresentação final, acompanhamento de visitas de estudo que os alunos considerem de realização imprescindível para a realização do projecto, acesso a ferramentas e a um local de trabalho para a construção do produto final. Deve ainda agir no sentido de a aquisição dos materiais implicarem o menor encargo possível quer para os alunos quer para a escola.

Nesta perspectiva, os trabalhos aqui descritos podem servir de mote para a realização de alguns trabalhos de projecto, uma vez que todos eles podem ser integrados em conteúdos programáticos previstos ao longo dos diversos ciclos de ensino. Assim, a proposta pode ser a da construção contextualizada de algum dos equipamentos, ou simplesmente, a sua utilização pelo aluno num projecto em que use o equipamento como ferramenta a privilegiar em contexto de trabalho experimental.

O que se pretende é colocar à disposição da comunidade educativa um conjunto de equipamentos de construção simples e, sobretudo, de baixo custo, de modo a privilegiar o desenvolvimento de competências enquadradas nos conceitos e não a manutenção da transmissão de conhecimentos do professor para o aluno.

3. Equipamentos *Low Tech*

3.1. Física com uma Garrafa de PET

a) Anotações e Referências

Quando se pensa numa garrafa de plástico de 1,5 litros, seja ela de água, ou de qualquer refrigerante, a primeira ideia que nos surge é: resíduo. No entanto, esta embalagem é uma das melhores candidatas a sofrer um dos 3Rs do ambiente: o de Reutilização. Sendo feitas de um material leve, facilmente trabalhável, quer em termos de corte, quer ao nível da colagem e até da moldagem, será fácil imaginar o sem número de objectos que se podem construir a partir deste material usado. Exemplo disso, são as diversas propostas que se podem encontrar em sites e livros de trabalhos manuais para crianças, onde as garrafas são transformadas em toda a espécie de materiais, desde o porta-lápis, aos fantoches.

No ensino, desde o 1.º Ciclo até ao Secundário são diversas as ocasiões em que o ensino de ciência pode ser ilustrado (leia-se enriquecido) com pequenos “aparelhos” ou montagens feitas com recurso a uma ou várias garrafas vazias. Neste capítulo, serão indicadas diversas actividades de Física que podem ser feitas com este recurso. Todas elas poderão ser construídas pelos alunos, nomeadamente em casa com a ajuda (ou não) dos seus Encarregados de Educação, o que pode constituir uma forma de motivação para o estudo da ciência, e constituirá certamente um reforço da componente experimental da aprendizagem da ciência, que como se referiu, é indispensável.

b) Descrição, Aplicações e Sugestões Didácticas dos Equipamentos

i) Garrafa sem alterações

A utilização da garrafa de plástico, sem qualquer alteração, constitui em si mesmo uma forma simples de demonstrar uma série de conceitos:

- Relação entre massa, peso e volume – utilizando uma destas garrafas, de preferência de apenas 1 litro, é possível estabelecer de uma forma empírica a relação entre a massa e o volume de água, e entre a massa e o peso, utilizando para isso uma balança e um dinamómetro, respectivamente. Se for utilizada uma garrafa de 1,5 litros, na qual vai sendo adicionada a água contida em garrafas de 33 centilitros, pode estabelecer-se uma relação gráfica entre a massa e o peso, cujo declive é a constante gravítica para a superfície da Terra.

Esta temática é abordada por diversas vezes ao longo da escolaridade dos alunos nomeadamente no 1.º Ciclo, quando se referem as seguintes competências essenciais a desenvolver no final do domínio “O dinamismo das inter-relações entre o natural e o social”:

- Conhecimento da existência de objectos tecnológicos, relacionando-os com a sua utilização em casa e em actividades económicas.
- Reconhecimento da importância da evolução tecnológica e implicações da sua utilização na evolução da sociedade.
- Realização de actividades experimentais simples para identificação de algumas propriedades dos materiais, relacionando-os com as suas aplicações.
- Realização de registos e de medições simples utilizando instrumentos e unidades adequados.”

(Abrantes, 2001)

No 3.º ciclo faz-se a distinção entre peso e massa, quando se afirma que “A distinção entre peso e massa poderá ser facilitada pela exploração de situações divulgadas nos média sobre os movimentos dos astronautas à superfície da Lua, no interior das naves espaciais e nas estações orbitais ou apresentadas em filmes de ficção.”(Galvão et al., 2001).

Esta temática é normalmente abordada de uma forma exclusivamente retórica, escudando-se o professor na falta de equipamentos da escola. Com este recurso, os únicos equipamentos necessários são a balança (que dependendo do rigor pretendido pode ser uma balança barata de cozinha) e um dinamómetro (que se adquire numa loja de ferragens por cerca de 5€).

- Pêndulo gravítico - permite a medição do período, frequência e demais grandezas associadas a este movimento, mas permite ainda o traçado da projecção horizontal da trajectória do movimento, uma vez que a garrafa pode ser cheia com areia que deixa sair pelo fundo, marcando no chão a sua trajectória. Se o fio que sustenta a garrafa for suficientemente longo e se se garantir a oscilação durante tempo suficiente, poderá haver registo da rotação originada pela rotação da Terra. Neste caso, há que dar particular atenção à forma de suspensão do fio e este deve ter mais de 2 metros de comprimento(Betisey, 2007).

- Conservação do momento de inércia - uma vez que a rotação da garrafa se mantém durante mais tempo se esta não estiver vazia. O momento de inércia deixou de fazer parte dos programas do ensino básico e secundário a partir da reforma consagrada pelo Decreto Lei nº 74/ 2004, de 16 de Março. No entanto, é um conceito que deve ser referido de um modo semi-quantitativo quando se explicam os fenómenos de rotação, como sejam o acelerar de uma patinadora no gelo quando fecha os braços, a manutenção da rotação de um peão que se encontra cheio de um líquido, etc.

- Possuindo o plástico da garrafa um índice de refacção próprio e característico, pode utilizar-se como recipiente para demonstrar os fenómenos ópticos como a refacção e o efeito de Tyndall que ocorre em soluções coloidais. Na modalidade de projecto, pode o aluno construir um sistema que permita aquelas demonstrações, nomeadamente a criação de um sistema que permita mostrar a reflexão total de um feixe de laser, como o que se descreve no capítulo seguinte desta dissertação.

Finalmente, a imaginação de cada docente e dos seus alunos é o limite. Sendo um material barato (custo zero) e disponível, o recurso ao mesmo deve ser uma constante e limitado apenas pelos objectivos pretendidos. Durante o processo de preparação das suas aulas, o docente que queira evitar as aulas puramente expositivas, pode pensar neste recurso com mais um que está disponível e é facilmente adaptável aos objectivos que se pretendem.

ii) *Massa e Peso*

Na secção anterior já se tinha referido uma forma de determinar a relação existente entre a massa e o peso de um corpo. No entanto, é possível construir uma balança dinamómetro utilizando um pedaço de uma garrafa, uma mola ou um elástico e massas conhecidas para a construção da escala da balança.

A sequência de montagem do sistema será a seguinte:

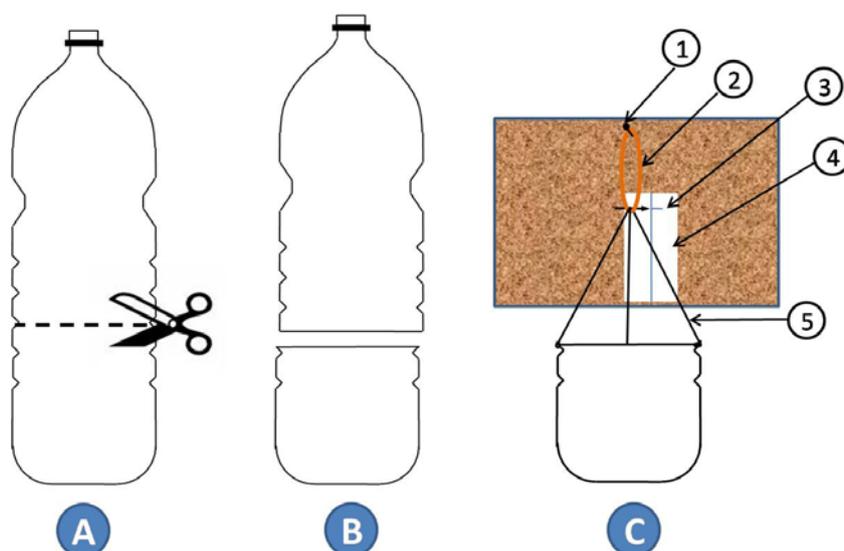


Figura 2 - Sequência de montagem de uma balança

A legenda da imagem C é a seguinte:

- 1 – Pregos de fixação do elástico;
- 2 – Elástico que pode ser substituído por uma mola;
- 3 – Ponto zero da escala;
- 4 – Papel para marcação da escala;
- 5 – Fio inextensível de suporte.

A escala é construída utilizando massas conhecidas que são sucessivamente colocadas no recipiente e marcada a posição do marcador no papel da escala.

A construção da escala e de um gráfico do peso colocado no recipiente em função do alongamento do elástico permite a determinação da constante de elasticidade, que é uma característica do material de que é feito o elástico.

iii) A rotação e a força centrípeta

Utilizando o “prato” da balança anterior (a que se passará a chamar recipiente), cujo nó de ligação é agora ligado a um fio comprido, pode fazer-se a rotação do sistema no qual se colocou água. Poderá ver-se que a água não cai do recipiente, apesar da rotação se dar para que a “boca” do prato fique voltada para baixo.

A água não cai porque a força criada pela rotação do sistema é suficiente para anular ou ultrapassar a força gravítica a que a água está sujeita. Sabendo a massa de água, podemos fazer uma estimativa do valor mínimo da velocidade necessária para que a água não saia do recipiente improvisado (actividade adaptada de (Walpole, 1993)).

O sistema em repouso terá a seguinte aparência:



Figura 3 - Sistema para fazer rotação, em repouso.

Após o início da rotação, estabelece-se um equilíbrio entre a velocidade necessária à rotação e a ausência de perda de água:

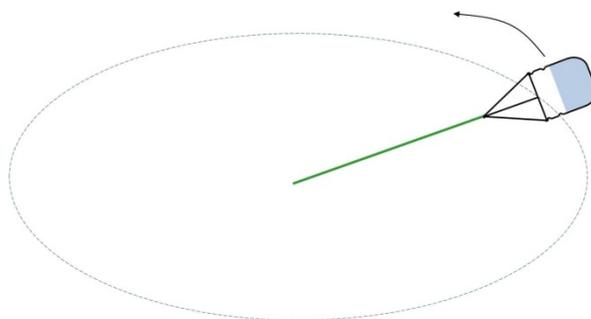


Figura 4 - Sistema em rotação se haver perda de água.

Uma das grandes dificuldades na leccionação da gravitação, 11º ano de Física e Química A, é encontrar actividades que possam demonstrar a razão da estabilidade orbital dos satélites. Esta é uma forma simples e acessível de o fazer, envolvendo o aluno na realização do sistema e na implementação da actividade.

iv) Ainda a Força devida à rotação

Como funciona a máquina de lavar roupa? Porque sai a roupa tão seca do seu interior? Mais uma vez a explicação reside na força centrípeta originada na elevada rotação do tambor da máquina.

Para esta actividade, é necessária uma montagem semelhante às anteriores, só que com um recipiente um pouco mais alto, no qual voltamos a colocar alguma água. A sequência de preparação será a seguinte:

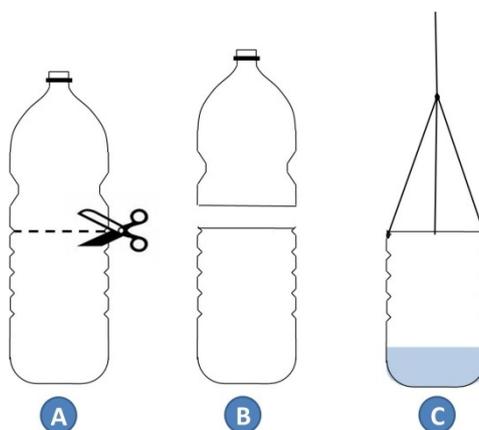


Figura 5 - Preparação da garrafa para a actividade iii).

O fio de suspensão é agora fixado a uma máquina manual (no caso do ensino básico) ou eléctrica de furar. Quando se inicia o funcionamento da máquina, verifica-se que a água no centro do recipiente desce e junto às paredes sobe. É a reacção à força centrípeta que força a água contra as paredes do recipiente. Não podendo vencer a resistência destas, a água sobe ao longo das paredes. O que se observa é esquematizado na Figura 6:

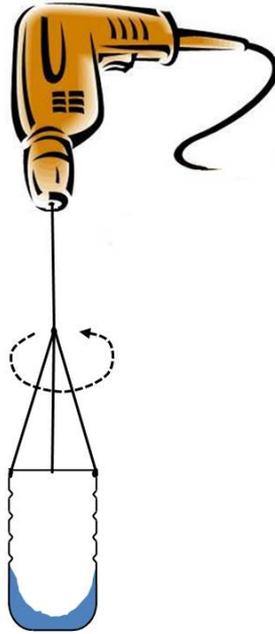


Figura 6 - Sistema de rotação recorrendo a um berbequim eléctrico.

Caso se possa utilizar um berbequim com uma rotação elevada, podem fazer-se furos nas paredes do recipiente, e colocar no seu interior um pedaço de tecido muito molhado, observando a saída da água pelos furos feitos.

Esta actividade pretende dar resposta às solicitações dos programas de Física e Química, quer no ensino básico, quer no secundário:

“Atente-se a que qualquer dos quatro temas envolve as componentes científica, tecnológica, social e ambiental, embora seja diferente a ênfase a dar na exploração destas componentes em cada um dos temas. Outro aspecto a salientar tem a ver com a articulação dos quatro temas. Com a sequência sugerida **pretende-se que**, após terem compreendido um conjunto de conceitos relacionados com a estrutura e funcionamento do sistema Terra, **os alunos sejam capazes de aplicar esses conceitos em situações que contemplam a intervenção humana na Terra e a resolução de problemas daí resultantes.**”

(Galvão et al., 2001)

v) A forma importa!

Nesta actividade é explorada a importância do volume deslocado para a fluabilidade de um corpo. A garrafa volta a ser cortada para funcionar como recipiente de água.

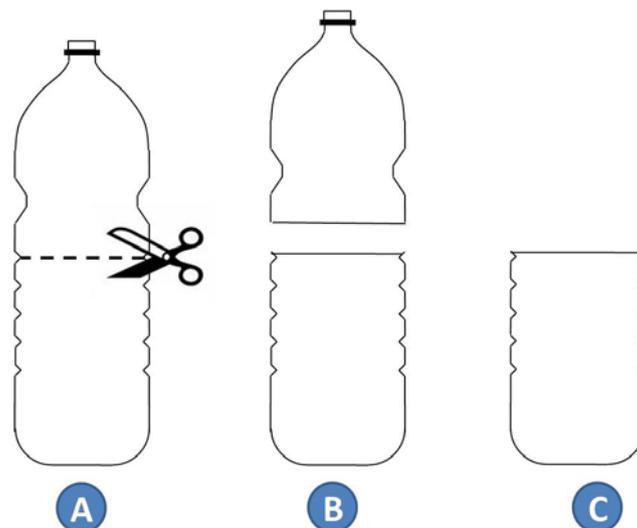


Figura 7 - Preparação da garrafa.

No seu interior é colocada uma bola de plasticina: ela vai ao fundo de imediato. De seguida, moldar a plasticina de modo a fazer uma placa (cujas dimensões caibam na garrafa na posição horizontal). Observar que a placa também se afunda. Se agora as paredes da placa forem moldadas para fazerem uma pequena parede, a plasticina flutua. Em cada caso, registar quanto sobe o nível da água na garrafa, com a introdução da plasticina. Relacionar o volume deslocado e a flutuabilidade.

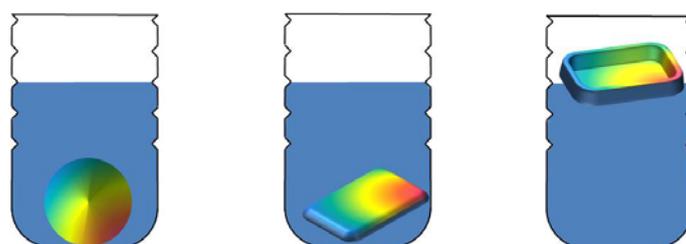


Figura 8 - formas da plasticina a colocar na água.

Esta actividade facilita a percepção do conceito de flutuabilidade e ajuda a compreender por que razão os navios de aço conseguem flutuar. Contribui para o desenvolvimento de aprendizagens significativas, uma vez que envolve a participação dos alunos na realização e desenvolvimento das actividades. A colocação de hipóteses de resolução do problema, ajuda a interiorizar a noção de volume deslocado e a sua influência na força criada pelos fluidos para permitirem a flutuação.

vi) Medir a Pressão atmosférica

A pressão atmosférica pode ser medida utilizando um barómetro. Este foi inventado por acaso por Gasparo Berti entre 1640 a 1643. Existem barómetros que utilizam mercúrio, ar, água para poderem medir a pressão atmosférica e todos se baseiam no facto de a atmosfera exercer um peso sobre a superfície do líquido.

Os primeiros barómetros de água foram inventados por Lucien Vidie, e eram chamados Vidros do Tempo ou Vidros das Tempestades, uma vez que podiam prever as mudanças de tempo. O escritor alemão Goethe popularizou a sua utilização, pelo que chegou a ser designado por vidro de Goethe (Wikipedia, 2008).

No caso desta actividade, o barómetro é construído com base numa garrafa de 1,5 litros e o prato de um vaso de flores. É utilizado um pedaço de papel milimétrico para fazer os registos da altura da água ao longo dos dias.

A montagem é feita colocando água na garrafa até $\frac{2}{3}$ do seu volume. No prato, o volume de água é cerca de metade da sua capacidade. A garrafa é invertida tapada com um dedo e só se retira o dedo quando já se encontra mergulhada na água do prato.

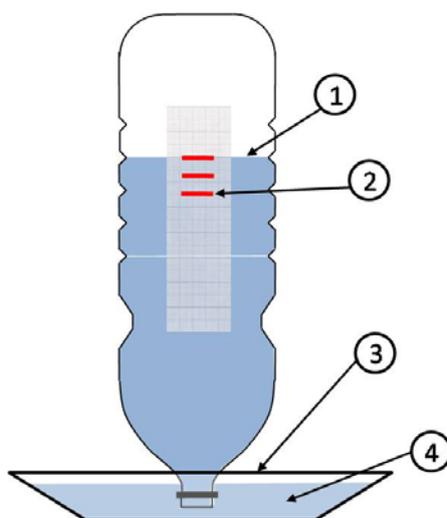


Figura 9 - Esquema do barómetro.

A legenda da montagem é a seguinte:

- 1 – Nível de água inicial;
- 2 – Marcas feitas no papel milimétrico, ao longo dos dias da experiência;
- 3 – Prato;
- 4 – Água colocada no prato ($\frac{1}{2}$ da capacidade do prato).

Esta é uma actividade interessante para mostrar que os processos científicos podem ser demorados, uma vez que a pressão atmosférica, salvo raras excepções, não sofre alterações apreciáveis de um dia para o outro. Assim, exige-se o acompanhamento do barómetro ao longo dos dias e o registo da variação do volume e a observação das condições atmosféricas. Se houver um barómetro comercial disponível, é possível fazer uma calibração do aparelho construído, de modo a permitir uma medição autónoma da pressão atmosférica. Para facilitar os registos, a água pode ser corada com corante alimentar, ou com guache.

vii) Medir a temperatura: um termómetro de água

O termómetro de água, também denominado termoscópio, é um equipamento que serve sobretudo para medir variações de temperatura. Galileu, no século XVI, desenvolveu um pequeno aparelho de vidro que tinha como objectivo medir variações de temperatura.

O seu funcionamento baseia-se na lei de Charles e Gay-Lussac, isto é, na relação de proporcionalidade entre o volume de um gás e a sua temperatura: o volume de uma certa quantidade de gás, mantendo-se constante a pressão, é directamente proporcional à temperatura do gás.

Assim, pode construir-se um dispositivo que meça a temperatura do ar e que, de uma forma muito simples permita identificar alterações de temperatura.

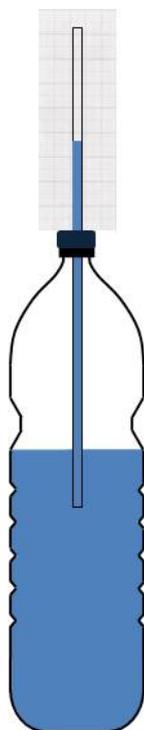


Figura 10 - Termómetro de água.

O volume de ar que se encontra confinado dentro da garrafa varia de volume com a variação de temperatura. Quando a temperatura aumenta, o volume aumenta e o ar empurra a água que sobe no tubo, que deve ter um diâmetro muito reduzido. Quando a temperatura desce, o volume de gás diminui, e a água desce no tubo. A altura da água pode ser calibrada com a ajuda de um termómetro comercial, marcando as diversas temperaturas no papel milimétrico.

Esta actividade para além de poder ser desenvolvida na modalidade de projecto, envolvendo os alunos na escolha de materiais e no dimensionamento do tubo, quer em termos de diâmetro quer em termos de comprimento, pode ser utilizado para desenvolver competências ao nível de:

- Compreensão da proporcionalidade directa;
- Construção de gráficos;
- Utilização de escalas e de papel milimétrico;
- Estudo da lei de Charles e Gay – Lussac;
- Compreensão da possibilidade de calibração de um equipamento, recorrendo a aparelhos comerciais.

A necessidade de calibração de aparelhos é um conceito que é importante desenvolver nos alunos, uma vez que pode estar enraizada a ideia de que os aparelhos são fabricados sem necessidade de calibração. Este equipamento poder ser o mote para explorar o conceito de precisão, relacionando a escolha do equipamento para um determinado fim, com o objectivo pretendido: Quando se pretende uma medição qualitativa, ou apenas indicadora, a precisão não é necessária e o equipamento pode ser mais rudimentar; se se pretenderem medições precisas, deve recorrer-se a um equipamento com outras características, com outro tipo de construção e calibração.

Pretende-se que os alunos desenvolvam as suas competências ao nível do raciocínio, como se refere nas orientações programáticas do 3º ciclo:

“Sugerem-se, sempre que possível, situações de aprendizagem centradas na resolução de problemas, com interpretação de dados, formulação de problemas e de hipóteses, planeamento de investigações, previsão e avaliação de resultados, estabelecimento de comparações, realização de inferências, generalização e dedução. Tais situações devem promover o pensamento de uma forma criativa e crítica, relacionando evidências e explicações, confrontando diferentes perspectivas de interpretação científica, construindo e /ou analisando situações alternativas que exijam a proposta e a utilização de estratégias cognitivas diversificadas.”

(Galvão et al., 2001)

viii) Como funciona o submarino?

O submarino é um equipamento para o qual a hidrostática e a hidrodinâmica são ciências essenciais. Com esta actividade pretende-se mostrar que, se o submarino vai ao fundo devido a um acumular de dois factores: peso da sua estrutura e da água, ele vem à superfície porque um determinado volume de ar pesa menos que o mesmo volume de água.

Assim, a preparação do submarino deve ser feita fixando a um dos lados da garrafa diversas massas, ao longo de uma mesma linha, para não provocar desequilíbrios laterais que o faça rodar em torno de uma eixo que passa pelo gargalo e pelo fundo da garrafa.

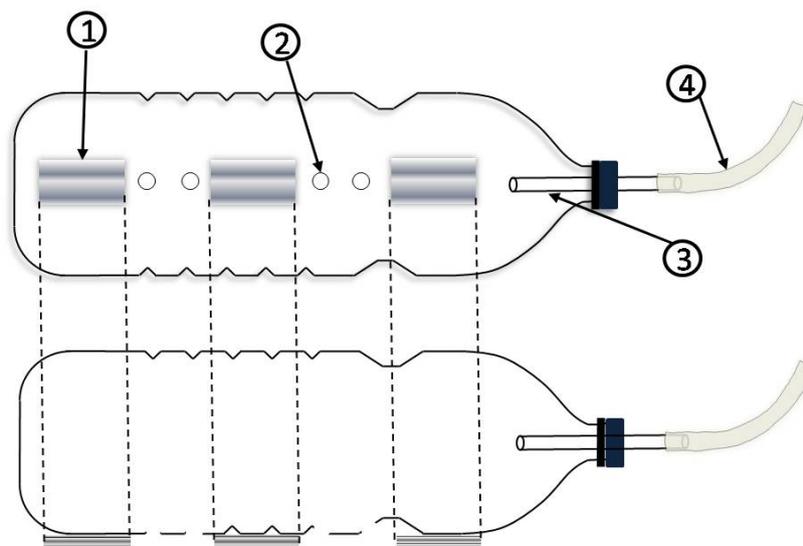


Figura 11 - Estrutura do simulador de submarino.

Mergulhando o sistema em água, esta entra pelos furos assinalados com 2, saindo o ar pelo tubo 4, e a garrafa afunda. Se as massas marcadas 1 não forem suficientes, o sistema não consegue afundar, pois o peso tem que ser maior que a impulsão. Quando se pretender que o “submarino” volte à superfície, sopra-se pelo tubo 4, o que expela a água pelos furos 2. O peso diminui e a garrafa vem à superfície.

A exploração desta actividade serve para demonstrar alguns conceitos como o do peso, impulsão, densidade e centro de massa. O envolvimento dos alunos é desejável, uma vez que pode ser sugerido que resolvam problemas como o local onde fixam as massas, e a necessidade de existirem massas extra. A ligação entre esta actividade e o funcionamento de um submarino pode ser uma excelente oportunidade de fazer a ligação entre a física e a tecnologia, frequentemente solicitada ao longo dos programas em vigor. A Base Naval do Alfeite autoriza visitas de estudo ao submarino museu, antecedida de uma pequena palestra em que um oficial da marinha explica os princípios teóricos do funcionamento da plataforma. Tem sido uma estratégia para mostrar aos alunos de 12º ano de Física a aplicação tecnológica dos conceitos de Hidrostática e de Hidrodinâmica leccionados na disciplina.

ix) Um mergulhador simples – Ludião.

Esta actividade é muito conhecida, embora a sua explicação nem sempre o seja. Trata-se de um pequeno objecto que é mergulhado no interior de uma garrafa praticamente cheia de água. O objecto fica a flutuar à superfície da água. Quando se aperta a garrafa, o objecto afunda, o que, para os alunos mais jovens pode ser acompanhado por um gesto que simule o puxar de um fio imaginário no fundo da garrafa. Como o gesto de apertar a garrafa é quase imperceptível, os jovens pensam estar perante um “fenómeno” estranho. Esta tem sido a reacção de dezenas de jovens entre os 12 e os 15 anos nos dias de ciência aberta nas escolas básicas e secundárias.

O objecto que se utiliza como mergulhador pode ser um conta gotas, uma tampa de uma esferográfica, à qual se fixa um pouco de plasticina para garantir que mantém a posição vertical, ou um pedaço de palhinha, dobrada e mantida com forma em U utilizando um clipe aberto.

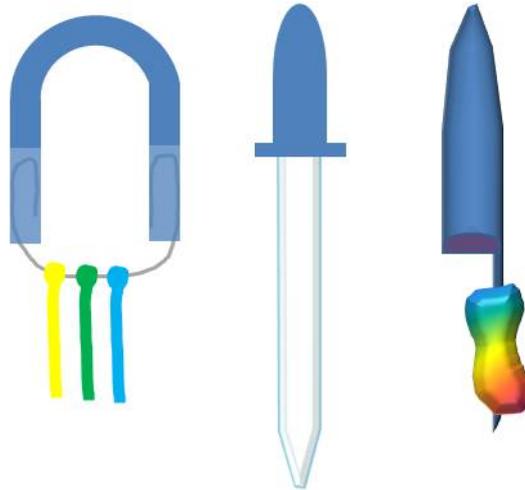


Figura 12 - Possibilidades de "mergulhadores".

Ao clipe que mantém a palhinha com o formato em U, fixam-se uns rolos de plasticina, de forma a aumentar a massa do sistema.

A bolha de ar que fica aprisionada em cada um dos sistemas é que vai ser responsável pelo afundamento ou pela sua flutuabilidade. Quando se aperta a garrafa, a pressão no seu interior aumenta pelo que o volume de ar diminui. Assim, o volume de água dentro do sistema aumenta, a massa (e portanto o peso) também e o corpo afunda. Quando se diminui o volume ocorre o processo contrário: o volume de ar aumenta, o de água no interior diminui, e portanto o peso do sistema diminui pelo que o objecto sobe.

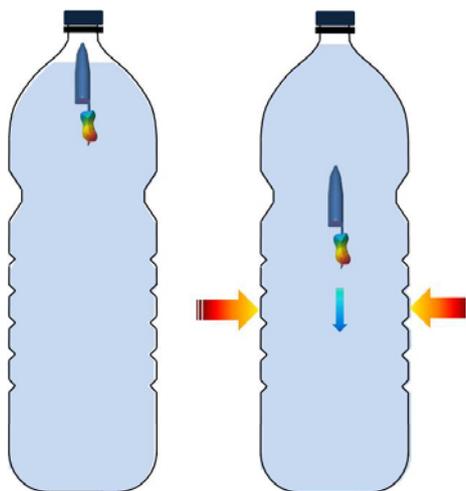


Figura 13 - Funcionamento do sistema do "mergulhador".

Esta actividade, para além do espanto que causa junto dos jovens, é excelente para demonstrar conceitos como peso, impulsão, bem como a relação entre a pressão e o volume de um gás:

- Lei de Boyle – Mariotte: Para uma dada massa constante de um gás, e a temperatura constante, a pressão é inversamente proporcional ao volume ocupado pelo gás.

x) Farol de mar

Os circuitos eléctricos simples constituem uma forma de, utilizando a metodologia de trabalho de projecto, envolver o aluno na sua aprendizagem, obrigando-o a pesquisar sobre o assunto e a desenvolver competências no manuseamento de diversas ferramentas e materiais. Com esta proposta, pretende-se que o aluno projecte um circuito eléctrico simples, elaborando o respectivo esquema, recorrendo à simbologia adoptada para os diversos equipamentos. Deve ainda desenvolver um interruptor utilizando apenas materiais de uso corrente, como clipes, molas, etc. A caixa onde será colocada a bateria de alimentação deve simular a casa do faroleiro. A luz do farol não rodará nem terá a função de acender e apagar. No entanto, para alunos de área de projecto de 12.º ano, poderá ser sugerida a resolução desses dois problemas, com recurso a soluções electrónicas. A iluminação do farol poderá ser feita por uma lâmpada de incandescência ou por um LED. No caso de se optar por um LED é necessário adicionar uma resistência de protecção.

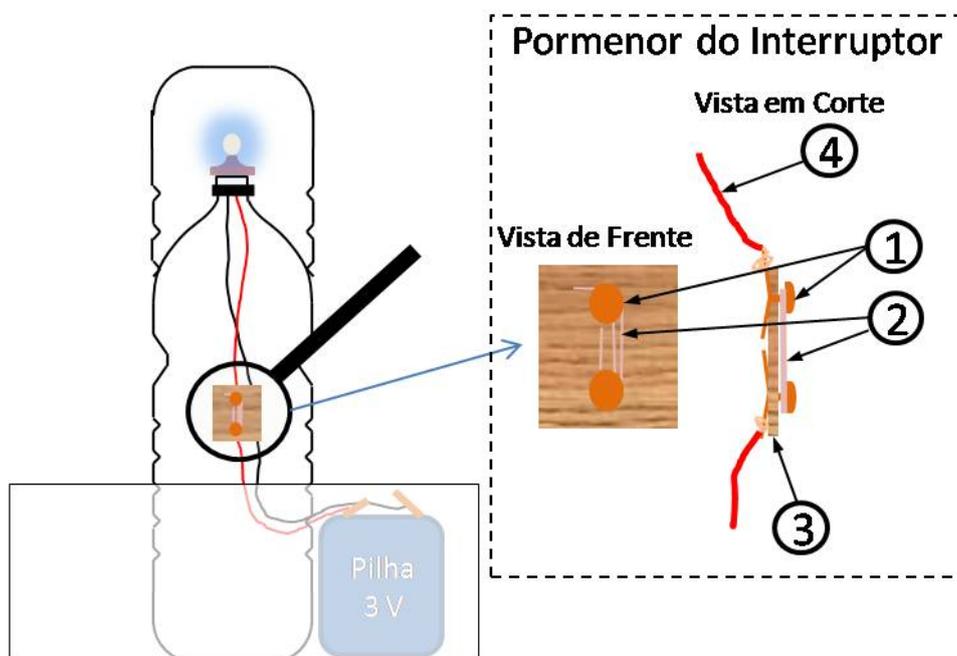


Figura 14 - Esquema do Farol de Mar.

Este farol é construído com base em duas das garrafas, uma das quais é cortada de modo a constituir a cúpula de iluminação. As garrafas devem ser pintadas no exterior

com tintas opacas de cor branca e vermelha. A legenda do pormenor do interruptor é a seguinte:

- | | |
|---------------------|--|
| 1 – Tacha metálica; | 3 – Pequeno pedaço de madeira ou cartão; |
| 2 – Clipe; | 4 – Condutores. |

No caso de alunos do secundário, que queiram desenvolver este projecto no âmbito da disciplina de Área de Projecto, podem associar a rotação da luz, colocando um pequeno motor de 1,5 V associado a um potenciómetro que possibilite o controlo da velocidade de rotação. Neste caso verifica-se um problema adicional: a alimentação da luz não pode ser feita por condutores fixos, que com a rotação iriam ser danificados. Para melhorar ainda mais o projecto, a luz deve ficar de tal modo que apaga e acende com uma frequência constante. Isto pode ser conseguido recorrendo a LEDs que têm essa funcionalidade, ou desenvolvendo um pequeno e simples circuito electrónico que permita essa possibilidade.

xi) A batata que não afunda

O conceito de densidade das substâncias e o da imiscibilidade de algumas soluções são normalmente fáceis de ilustrar. O recurso à mistura de azeite e vinagre, usada no dia-a-dia para temperos possibilita essa ilustração e facilita a compreensão. Mais difícil é ilustrar as diferenças de densidade entre soluções do mesmo solvente, caso da água doce e da água salgada. A constatação que alguns alunos tenham feito do facto de ser mais fácil “boiar” na água do mar do que na água doce de uma piscina, pode ser o mote para a exploração desta temática.

Nesta actividade mostra-se como um determinado objecto (um pedaço de batata) não consegue flutuar em água doce mas não afunda em água salgada. O sistema é constituído por uma garrafa cortada na qual é colocada uma solução saturada de cloreto de sódio e, sobre esta, um volume idêntico de água doce ao qual se adiciona um corante para distinguir as duas fases da mistura. A uma fatia de uma batata, cuja espessura deve ser inferior a 5 mm são fixados 4 triângulos de plástico, para que esta mantenha uma certa estabilidade e mantenha a posição horizontal (assemelhando-se a um peixe).



Figura 15 - Fatia de batata sem e com os "estabilizadores" fixados.

A mistura da água doce com a água salgada é colocada na garrafa. Primeiro a água salgada, e por cima desta, lentamente e utilizando as paredes da garrafa, a água doce corada. Pode utilizar-se uma colher para evitar a mistura entre as duas águas. Finalmente mergulha-se lentamente a fatia de batata na garrafa, verificando que ela permanece em equilíbrio na superfície de separação entre as duas soluções.



Figura 16 - Aspecto final do sistema.

Na fotografia seguinte apresenta-se o que se esquematiza na Figura 16.

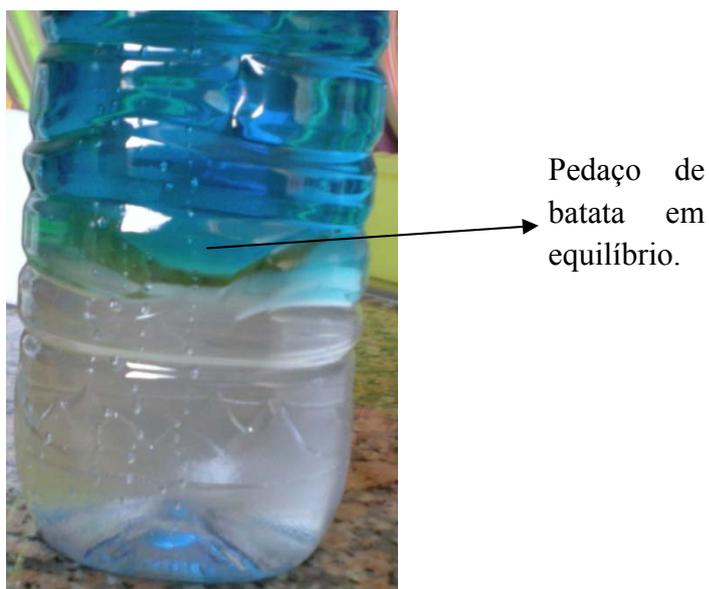


Figura 17¹ - Foto da montagem.

Para além de ser muito atraente em termos visuais, esta actividade constitui uma óptima oportunidade para debater os conceitos de densidade, impulsão, balanços de forças a que os corpos submersos estão sujeitos, condições de estabilidade estática, entre outras. Pode propor-se a substituição do pedaço de batata por outro objecto. Atente-se ao que vem nos objectivos do programa de Física e Química A do ensino secundário:

¹ Actividade de divulgação de Ciências que faz parte do projecto de estágio pedagógico das professoras Liliana Rodrigues, Joana Costa e Miriam Jesus, sob orientação da professora Filipa Silva e supervisão do professor Vítor Teodoro.

Aprender ciência implica aprender a sua linguagem, mas isso deverá ser feito de forma gradual, tentando desenvolver o nível de abstracção dos alunos. As ciências e, em particular, a Física e Química, dado o seu carácter mais concreto de aplicação ao quotidiano, são um meio privilegiado para esclarecer e ilustrar muitos conceitos matemáticos. Não esquecer, porém, que o ensino secundário não deve ser transformado num ensino superior antecipado!

(I. Martins et al., 2001)

Pode ainda ser um veículo para, abandonando a metodologia exclusivamente expositiva, se possam organizar as aulas de outra forma:

“As aulas deverão ser organizadas de modo a que os alunos nunca deixem de realizar tarefas em que possam discutir pontos de vista, analisar documentos, recolher dados, fazer sínteses, formular hipóteses, fazer observações de experiências, aprender a consultar e interpretar fontes diversas de informação, responder a questões, formular outras, avaliar situações, delinear soluções para problemas, expor ideias oralmente e/ou por escrito.”

(I. Martins et al., 2001)

xii) Bernoulli numa garrafa de plástico

No século XVIII, o suíço Daniel Bernoulli verificou experimentalmente que a pressão é menor nos locais onde a velocidade de escoamento é maior, e vice-versa. Esta observação ficou conhecida por Princípio de Bernoulli. Na realidade, este princípio traduz uma forma de conservação de energia mecânica, uma vez que relaciona a pressão, o desnível e a velocidade de um fluido incompressível num escoamento permanente, através de um tubo com área de secção recta variável.

A expressão de Bernoulli é dada por:

$$p + \rho \cdot g \cdot y + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 = \text{constante} \quad (0.1)$$

Nesta expressão, o primeiro termo é o termo de pressão, o segundo termo é o de desnível e o terceiro e último termo é relativo à energia cinética do fluido. É uma lei com uma grande importância em termos industriais e tecnológicos, sendo o princípio de funcionamento de um enorme número de sensores e dispositivos com a missão de medir velocidades de fluidos.

No entanto, não é muito fácil de comprovar de uma forma simples e didáctica a referida lei. A actividade que a seguir se descreve permite comprovar a aplicabilidade e a validade da referida expressão, permitindo a integração de meios mais ou menos arcaicos com meios tecnologicamente muito avançados.

A montagem a utilizar é a que a seguir se apresenta, que recorre a uma garrafa de 1,5 litros de refrigerante (pois não deve ter sulcos laterais), um sensor de posição e as craveiras existentes no laboratório de Física. É necessário um conjunto de 4 tampas com furos de diâmetros diferentes, feitos no seu centro: sugere-se que se utilizem furos com 7 mm, 9 mm, 10 mm e 12 mm.

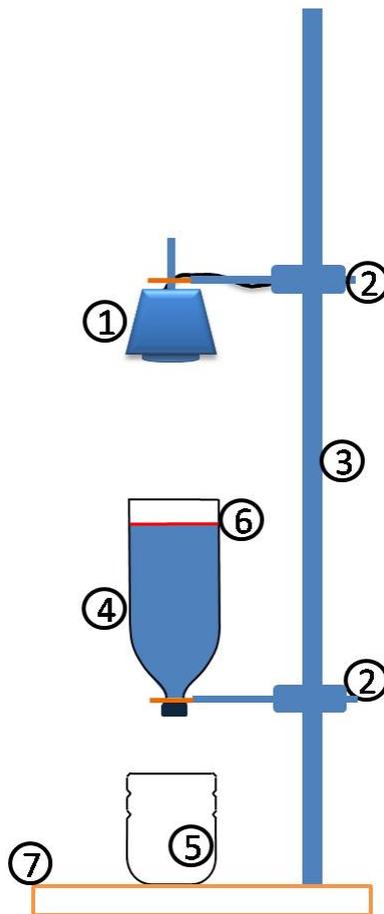


Figura 18 - Montagem para actividade envolvendo a expressão de Bernoulli.

LEGENDA:

1. Sensor de movimento ultra-sónico;
2. Nozes de fixação ao suporte metálico;
3. Suporte metálico;
4. Garrafa sem fundo, invertida com água e com um furo na tampa da garrafa;
5. Recipiente para recolha da água;
6. Traço do volume de água a colocar na garrafa em cada ensaio;
7. Base do suporte.

Destapando o buraco feito na tampa, que foi tapado com o dedo durante o processo de colocação até à marca (6) da água na garrafa, esta sai para o vaso de recolha (5). O sensor de movimento regista a variação da posição da superfície da água ao longo do seu escoamento da garrafa. Antes de iniciar as medições com o sensor, devem ser feitas as seguintes medições:

- Diâmetro interno da garrafa, D ;
- Altura desde a saída de água na tampa até à superfície, H ;
- Diâmetro interno do furo de descarga de água.

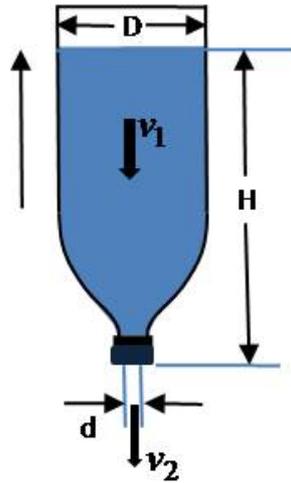


Figura 19 - Grandezas a medir antes do escoamento da água.

Iniciando a medição do deslocamento da superfície da água em função do tempo, verifica-se que, até um determinado instante, esta variação é aproximadamente quadrática. A partir desse instante é uma variação errática, devido ao vórtice que se cria no final do escoamento.

No entanto, com os dados recolhidos até esse instante, é possível fazer um ajuste quadrático. O tempo de descarga da água (experimental) corresponde ao ponto de intersecção entre o prolongamento da curva parabólica e a recta correspondente ao nível zero da água:

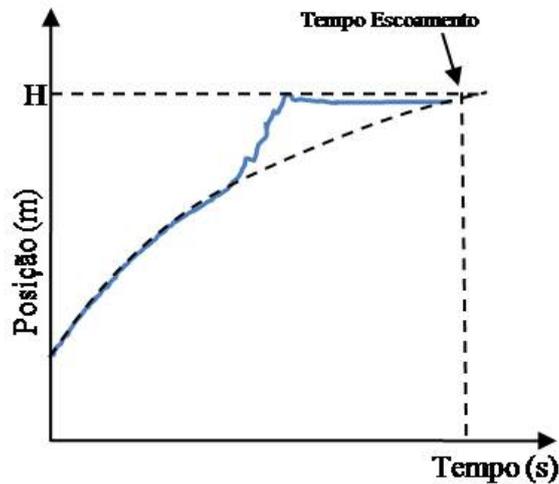


Figura 20 - Gráfico obtido a partir das medições com o sensor de posição.

Pode demonstrar-se, a partir da equação de Bernoulli e da Lei da Conservação da Massa, da dinâmica de fluidos:

$$v_1 \cdot A_1 = v_2 \cdot A_2 \quad (0.2)$$

que a expressão que indica o tempo de escoamento da água a partir da garrafa, é:

$$t_e = \sqrt{\frac{2 \cdot H}{g} \cdot \left[\left(\frac{D^4}{d^4} - 1 \right) \right]} \quad (0.3)$$

Repetindo a actividade para os diversos diâmetros de escoamento, poderá ter-se uma noção da exactidão do método experimental. O máximo desvio encontrado situa-se no 5,6% (Guerra, Plaisted, & Smith, 2005), o que demonstra bem a precisão conseguida com um método muito simples e barato.

Uma alternativa à utilização do sensor de movimento é a monitorização da altura da superfície do líquido recorrendo a uma régua, colada à garrafa, e a um cronómetro. Os erros cometidos serão superiores, mas o sensor custa cerca de 200,00€, pelo que a substituição por este método pode mostrar-se vantajosa.

Em termos didácticos, esta actividade tem interesse para os alunos de Física de 12.º ano, podendo ser um projecto da Área Curricular não disciplinar de Área de Projecto. O programa de 12.º ano de Física não propõe nenhuma actividade para verificação da equação de Bernoulli, pelo que esta actividade poderá ser um bom pretexto para o estudo desta relação tão importante na dinâmica de fluidos.

A demonstração da expressão do tempo envolve a integração de uma equação diferencial, pelo que não poderá ser feita pelos alunos do 12.º ano, que não têm ainda conhecimentos matemáticos suficientes para o fazerem.

3.2. A Física com Equipamentos Simples das “Lojas Chinesas”

a) Anotações e Referências

Quando se pensa em “Lojas Chinesas”, vem-nos à ideia uma série de produtos de qualidade duvidosa, colocados “ao monte” em superfícies comerciais de maior ou menor dimensão.

No entanto, a visita a estes corredores com um olhar vestido de uma perspectiva mais experimentalista e menos consumista, permite descobrir alguns equipamentos de utilidade elevada para as aulas de Física ou, de uma forma mais generalista, para as aulas com um maior peso dado à observação e menos de retórica simples e muitas vezes inútil.

A vantagem nestes equipamentos reside, sobretudo, no baixo custo. Para o fim em vista, isto é, observação de fenómenos físicos em sala de aula, a qualidade não é um factor que marque a diferença. Assim conseguem-se adquirir multímetros digitais, alguns com elevada precisão, a preços inferiores a 5€, que permitem aos alunos do 3.º ciclo a montagem de pequenos circuitos eléctricos de corrente contínua e a medição de diferenças de potencial e de intensidade de corrente, ao invés de verem o circuito no quadro e de acreditarem nas palavras do professor, quando este lhe comunica qual o valor que se deveria obter se colocasse o aparelho numa determinada posição.

b) Descrição, valores típicos e sugestões didácticas dos Equipamentos

Pelo grande número de equipamentos que se podem adquirir ao longo do tempo numa destas lojas, far-se-á a descrição de apenas alguns desses equipamentos, bem como das possibilidades de utilização didáctica dos mesmos. Apresenta-se, no entanto, uma listagem mais completa dos equipamentos encontrados e que podem ter interesse para as aulas de Física ou de Química.

i) Multímetro

Os multímetros disponíveis podem ser digitais ou analógicos, sendo estes últimos mais baratos. A opção por um ou outro modelo relaciona-se com o tipo de aplicação para a qual é adquirido.



Figura 21 - Multímetro adquirido num estabelecimento chinês

São multímetros que funcionam com uma bateria de 9 V, do tipo 6LR61, apresentando erros de medida entre os 0,5% (para tensão) e os 2,0% (para medição de corrente). Estão disponíveis modelos (um pouco mais caros) que possibilitam a medição de temperaturas (com erros de 1 °C).

O modelo adquirido (DT-830B) é digital, possibilitando a medição de tensão em corrente contínua e alternada, intensidade de corrente, resistência, hFE e teste de díodos. Apresenta-se compacto e robusto, resistindo ao manuseamento menos cuidado por parte dos alunos mais novos. Permite a medição de grandezas simples ao nível de circuitos de corrente contínua. Deste modo, podem ser fornecidos ao aluno os materiais necessários para a montagem de circuitos eléctricos simples, e pedir que meçam grandezas como a intensidade de corrente e a tensão no circuito, aplicando depois a lei de Ohm. Pode ainda ser utilizado para a medição da resistência de diversos condutores (Galvão et al., 2001).

São particularmente úteis em trabalhos na metodologia de projecto, uma vez que um aparelho pode ser adquirido e fixado na base de suporte do projecto para indicar uma determinada grandeza. Exemplos de projectos que utilizem estes aparelhos relacionam-se normalmente com formas de produção de corrente eléctrica, nomeadamente fotovoltaica, eólica ou hidráulica. Apresentam-se de seguida dois exemplos de trabalhos onde se faz a utilização destes multímetros:

- No ensino básico, no tema “Viver Melhor na Terra”, são referidos os circuitos eléctricos, fazendo a sugestão de que os alunos façam medições de intensidades de corrente e de diferença de potencial entre dois pontos dos circuitos que eles próprios montam. Sugere-se que em adição a esta sugestão, o aluno possa construir uma pequena pilha com diversos limões, placas de cobre e parafusos de latão, de modo a observarem corrente eléctrica obtida a partir de reacções químicas. A utilização de multímetros analógicos pode ter aqui vantagem, pois as pequenas variações de corrente são detectáveis com a movimentação do ponteiro indicador.



Figura 22 - Multímetro utilizado num circuito com uma pilha de limão

• Num projecto desenvolvido por alunos de Física de 12.º ano, foi associado a um outro aparelho descrito numa secção seguinte, de modo a monitorizar a produção de corrente através do processo de indução electromagnética, permitindo verificar que, conforme o sentido do movimento do íman no interior da bobine, assim o sinal apresentado no aparelho se apresenta positivo ou negativo.



Figura 23 - Preço e modelo do multímetro adquirido

O custo deste equipamento oscila entre os 2,50€ e os 5,50€, dependendo do modelo e do número de grandezas que consegue medir. O aqui apresentado tem um custo de 3,50€. Como comparação, um modelo equivalente encontra-se disponível nas lojas de electrónica por cerca de 20,00€.

ii) Lanternas de Indução

As lanternas de indução estão disponíveis em diversos modelos, podendo optar-se por qualquer um deles para demonstrar a indução electromagnética de Faraday.

O equipamento mais interessante baseia-se na oscilação de um íman no interior de uma bobine. Esta oscilação é provocada pela agitação da lanterna. A lanterna possui um acumulador que é carregado pela corrente gerada na bobine com este movimento do íman. Pode assim mostrar-se aos alunos que só há indução de corrente se houver movimento do campo magnético em relação à bobine.



Figura 24 - Lanterna de indução por agitação

Este equipamento pode facilmente ser aberto para se ter acesso ao pequeno circuito electrónico que possui e, deste modo, ligar um multímetro aos seus terminais. Pode assim ter-se a noção do sentido da corrente que está a ser gerada, uma vez que este depende do sentido do movimento do íman. Pode ainda acompanhar-se a carga e descarga de um acumulador de energia, que não é mais que um condensador electrolítico. Associado ao multímetro descrito na secção anterior, pode ser a base de alguns trabalhos na modalidade de projecto, dado o custo muito baixo de cada uma destas unidades.

Num trabalho de 12.º ano de Física, já referido anteriormente, foi associado a uma destas lanternas um multímetro e um sistema de manivela para movimentar o íman. Conseguiu-se monitorizar a relação entre o sentido de movimentação do íman com o sentido da corrente gerada. Este equipamento está disponível na escola e tem servido para observar a produção de correntes eléctricas induzidas, estudando os factores que afectam a intensidade e o sentido dessas correntes. O objectivo é o de se fazer um claro afastamento do tipo de aula exclusivamente retóricas, passando a adoptar uma metodologia mais experimentalista, proporcionando ao aluno momentos de aquisição de conhecimentos com recurso à metodologia de “mãos na massa”, o que facilita as aprendizagens.

Outros modelos disponíveis possuem uma pequena alavanca que quando pressionada faz rodar um disco, ao qual está fixado o íman, que se desloca assim em relação a uma bobine. Este modelo, com o qual também se pode demonstrar a Lei da Indução de Faraday é ainda particularmente útil para demonstrar o efeito da massa na conservação do momento de inércia, uma vez que a massa do disco é relativamente elevada face à massa dos restantes componentes. Este modelo é difícil de encontrar numa versão feita com plástico transparente, o que torna difícil a explicação do seu funcionamento. Neste tipo de demonstrações é de evitar o efeito de “caixa negra”, que pode funcionar para reforçar concepções alternativas que o aluno possua.

Pretende-se que cada um destes modelos tenham condutores ligados aos terminais da bobine, que permitam a monitorização da corrente induzida através de um sensor da

PASCO, e assim registar a quantidade de corrente induzida. Se as condições estiverem devidamente controladas, poderá permitir uma estimativa da conversão da energia mecânica em energia eléctrica.

Em termos de custos, estas lanternas podem ser adquiridas por valores que oscilam entre os 2,50€ e os 5,00€, dependendo do comprimento da lanterna. As lanternas de indução por pressão encontram-se entre os 3,50€ e os 5,00€. De referir que algumas casas de desporto aventura possuem lanternas de agitação, comercializadas como uma boa fonte de luz em casos de emergência. Nestes casos, no entanto, o preço já se situa perto dos 15,00€. Também as lanternas de pressão são comercializadas em grandes superfícies no âmbito da colecção “Que Descobriste Hoje?”, da responsabilidade do *Discovery Channel*. No entanto, o seu preço ultrapassa os 5,00€ e não possuem acumulador pelo que é necessário manter a pressão no manípulo para emitirem luz.

iii) Árvore de Natal

Um dos modelos de árvore de Natal mais em voga neste tipo de estabelecimento comercial consiste num agrupamento de fibras ópticas que são dispostas por vários comprimentos. Na sua base, encontra-se um projector de halogéneo sobre o qual roda um disco que possui diversas aberturas circulares nas quais se encontram pedaços de acrílico com várias cores. Assim, a luz que entra na extremidade das fibras ópticas vai variando de cor, dando a sensação de várias lâmpadas minúsculas distribuídas pela árvore.



Figura 25 - Árvore de Natal de fibra óptica

O grande interesse deste *gadget* é a quantidade de fibras ópticas que se conseguem obter a um custo muito baixo. Refira-se que o metro linear de fibra óptica é muito elevado, e que as empresas só comercializam rolos de grandes dimensões, o que

torna a aquisição deste acessório incomportável para o orçamento da maioria das escolas básicas e secundárias.

Assim, a partir das fibras retiradas da árvore de Natal conseguem-se fazer diversas demonstrações, nomeadamente recorrendo a emissor laser, como o que se descreve na secção seguinte desta dissertação. É assim possível mostrar o fenómeno da reflexão total, uma vez que o feixe pode ser conduzido através da fibra apesar desta se encontrar enrolada ou dobrada.



Figura 26 - Iluminação reflectida no interior da fibra óptica

Quer ao nível do 8.º ano de Ciências Físico-Químicas, quer ao nível do 11.º ano de Física e Química A, as fibras ópticas são referenciadas como uma aplicação tecnológica do fenómeno da reflexão total, sendo isso mostrado ao aluno através de desenho ou, na melhor das hipóteses recorrendo a uma fotografia ou a um pequeno filme. Com este recurso, pode colocar-se o aluno perante o equipamento para que ele experimente o fenómeno e verifique que o feixe introduzido na fibra, efectivamente, chega à outra extremidade da mesma.

iv) Emissor laser

Os emissores laser mais acessíveis são os laser de díodo vermelhos, que emitem radiação entre os 670 nm e os 650 nm. Um laser de díodo possui um semicondutor que é o meio activo, semelhante ao que se encontra nos díodos emissores de luz (LEDs). Os lasers mais comuns são constituídos por uma junção p-n e activados pela injeção de corrente eléctrica. São por isso frequentemente referenciados como lasers de injeção, para os distinguir dos lasers bombeados opticamente, que são mais facilmente produzidos em laboratório.

Os emissores laser comercializados nestes estabelecimentos apresentam diversas configurações: podem ser pequenos porta-chaves, ou terem uma pequena lanterna que possui um LED branco de brilho elevado. Normalmente possuem um íman de neodímio que é suficiente para justificar o custo de compra, uma vez que são imanes muito fortes e com elevado preço de aquisição.



Figura 27 - Emissor laser com lanterna.

São lasers de fraca potência ($P < 5 \text{ mW}$), que emitem num comprimento de onda de $650 \pm 10 \text{ nm}$, isto é, vermelho. Esta característica é limitadora uma vez que a utilização de lasers de outras cores poderia ser interessante.



Figura 28 - Emissor laser com lanterna, ambos a emitir.

Podem ser utilizados nas demonstrações no domínio da óptica (reflexão, refração) bem como ao nível da Química, sendo utilizados para demonstrar o efeito de Tyndall, produzido pelas dispersões coloidais. No 11.º ano de Física e Química A, é possível fazer medições quantitativas da reflexão de um feixe laser, utilizando uma cartolina branca na qual foi impresso um círculo graduado em graus, e um espelho. O laser é colocado num suporte de fixação de tal modo que o seu feixe seja rasante na cartolina que é colocada na horizontal. É assim possível medir e demonstrar que na reflexão o ângulo de incidência é igual ao ângulo de reflexão. Utilizando um prisma sobre a cartolina, é possível medir o ângulo de refração e assim determinar o índice de refração do vidro que constitui o prisma. Este tipo de problema encontra-se na prova prática da V Olimpíada Ibero-americana de Física, que decorreu em 2000 em Jaca, Espanha (SPF, 2000).

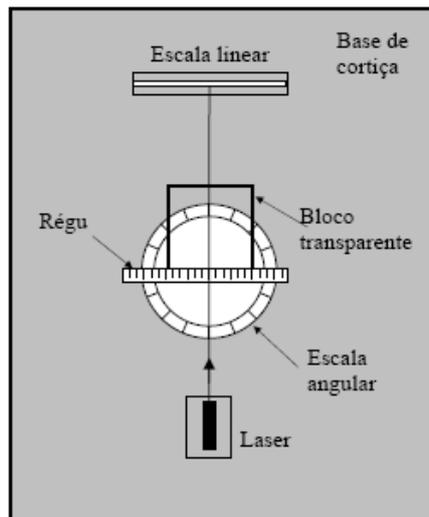


Figura 29 - Esquema da utilização de um laser

Utilizando diversos lasers colocados num suporte de tal forma que os feixes sejam paralelos, é possível utilizar lentes convexas ou côncavas para mostrar a convergência ou divergência provocada pelas lentes. A utilização dos feixes laser facilita a observação dos fenómenos ópticos, apresentando resultados muito superiores ao feixe criado por uma fenda colocada em frente de uma lâmpada de incandescência.

v) Bola de plasma

A bola de plasma ou globo de plasma é constituído por um circuito electrónico e por uma esfera de vidro, no interior da qual se encontra um gás rarefeito. O circuito electrónico é constituído por um transformador que a partir da corrente que entra no circuito (tipicamente 10 V e 2 A, 50 Hz) a transforma para os 8.000 V a 15.000 V e 20kHz, com uma corrente da ordem dos miliamperes. Com uma tensão desta ordem de grandeza, os gases rarefeitos no interior do globo são ionizados, passando ao estado de plasma, emitindo radiação visível, quando sofrem desexcitação, cuja cor depende do gás que se utiliza (normalmente néon ou árgon).



Figura 30 - Bola de Plasma

A tensão elevada verificada na haste central, constituída por ferrite, cria um campo eléctrico de grande intensidade, observando-se os raios entre esse eléctrodo

central (que se encontra a um potencial eléctrico elevado) e a superfície do globo, que se encontra a um potencial próximo do da Terra.



Figura 31 - Bola ou Globo de Plasma.

O campo eléctrico criado à volta da esfera de vidro pode ser detectado utilizando um electroscópio, cujas folhas se separam por aproximação ao globo. É ainda possível provocar o poder das pontas referido no programa de Física de 12.º ano, se ao globo se aproximar um objecto metálico ligado à Terra. De uma forma geral, muitos dos conceitos relacionados com o campo eléctrico podem ser explorados utilizando este pequeno aparelho.

No 10º ano poderá ser interessante mostrar como é possível provocar a excitação de átomos de mercúrio recorrendo à electricidade estática, aproximando uma lâmpada fluorescente de uma destas esferas ligadas.



Figura 32 - Lâmpada fluorescente acesa pelo campo eléctrico não uniforme.

Ao regressarem aos estados de menor energia, os átomos emitem radiação visível, “acendendo” a lâmpada utilizada na demonstração. Devido à ausência de

periculosidade, devem ser os alunos a conduzir a experiência, podendo tocar na esfera, verificar a produção de raios quando aproximam a sua mão da de um colega, etc.

Recorrendo ao sensor PS – 2132 – Charge Sensor, da PASCO (<ftp://ftp.pasco.com/Support/Documents/English/PS/PS-2132/012-08282A.pdf>), pode-se determinar a dependência do campo eléctrico criado com a distância ao ponto de criação do mesmo.

Este aparelho muito simples pode ser adquirido neste estabelecimentos comerciais por 7,50€ a 9,00€, enquanto nos *sites* que comercializam *gadgets*, os preços rondam os 15,00€ a 25,00€.

4. Equipamentos *High Tech*

Os aparelhos descritos nesta secção foram desenvolvidos no âmbito do “Projecto em Física Experimental”, que se desenvolve no Departamento de Física da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa. A autoria dos mesmos é partilhada por uma equipa que procedeu à sua concepção, dimensionamento, desenvolvimento e teste, de modo a poderem tornar-se facilmente montados por professores e alunos sem conhecimentos aprofundados de Electrónica. A descrição feita é bastante simples, e tem fins essencialmente didácticos, não se pretendendo entrar no domínio da Engenharia Física envolvida.

Este projecto pretende desenvolver diversas experiências cujos equipamentos possam ser construídos nas escolas do ensino secundário, quer por professores, quer por alunos se acompanhados por um professor. No final do projecto, pretende-se que cada experiência esteja documentada do seguinte modo:

- Descrição do projecto com enquadramento histórico, teoria associada e objectivos a demonstrar;
- Esquemas eléctricos e electrónicos;
- Desenhos mecânicos de alguma peça mais específica, que seja necessário encomendar a uma oficina da especialidade;
- Outros desenhos / fotografias;
- Procedimento para a construção da experiência;
- Descrição das diversas experiências que o equipamento possibilita, com o respectivo procedimento;
- Resultados típicos;
- Lista de fornecedores de materiais e contactos úteis relacionados com o tema do trabalho.

Deste modo, cada um dos aparelhos descritos apresenta alguns dos itens esperados no projecto, embora nenhum deles possa ainda ser considerado o aparelho final a apresentar, uma vez que necessitam de alguns melhoramentos, que serão sugeridos.

4.1. Efeito Fotoeléctrico

a) Anotações e Referências

O efeito fotoeléctrico pode observar-se fazendo incidir radiação sobre placas metálicas. Consiste na emissão de electrões pelos metais sobre os quais incidiu a radiação electromagnética com determinadas características. Este efeito foi descoberto

por Heinrich Hertz, em 1887, e explicado, em 1905, por Albert Einstein. Os electrões emitidos são denominados fotoelectrões, por resultarem da acção da luz sobre os metais.

Einstein interpretou este fenómeno como o resultado da colisão entre um electrão do átomo metálico e uma partícula de radiação (fotão) com energia suficiente para o extrair. Assim, os electrões do metal, ao captarem a energia dos fotões que sobre eles incidiam, ficariam com uma energia suficiente para serem ejectados do metal.

Com esta explicação também se compreende a razão pela qual nem toda a radiação é capaz de provocar efeito fotoeléctrico. De facto, um electrão necessita de uma energia mínima para se conseguir ejectar do metal (correspondente ao valor da 1ª energia de ionização do átomo do metal). Assim, só uma radiação em que o fotão possui energia igual ou superior a este valor mínimo é que consegue provocar a ejeção do electrão. O electrão extraído, é emitido com energia cinética igual à diferença entre a energia do fotão incidente e a energia mínima de remoção.

$$\text{Energia Cinética} = \text{Energia do Fotão Incidente} - \text{Energia Mínima de Remoção}$$

Em 1900 Planck descreve de que forma a radiação electromagnética transporta energia: propõe a hipótese da existência de uma “partícula” de luz, o *quantum*, cuja energia era determinada pela expressão de Planck:

$$E = h \times \nu \quad (0.4)$$

em que:

E → Energia de um **quantum**

h → Constante de Planck

ν → Frequência

Deste modo, se a luz é constituída por pequenos “pacotes individuais” de energia, explicava com facilidade a necessidade da colisão entre um *quantum* e um electrão para que este fosse ejectado do átomo.

Os electrões assim ejectados de uma superfície metálica podem então ser atraídos por outra superfície metálica, especialmente se esta se encontrar carregada positivamente. Se, por oposição, aplicarmos à outra superfície metálica uma tensão negativa, esta superfície ficará com um potencial repulsivo (ou retardador), relativamente aos electrões ejectados. Se aumentarmos gradualmente o potencial repulsivo desta superfície, haverá um valor a partir do qual a corrente eléctrica produzida pelos fotoelectrões se anulará. Este potencial de extinção pode ser directamente relacionado com a energia dos electrões e, portanto, dos fotões incidentes.

O esquema da montagem experimental utilizada para o estudo do efeito fotoeléctrico é o seguinte:

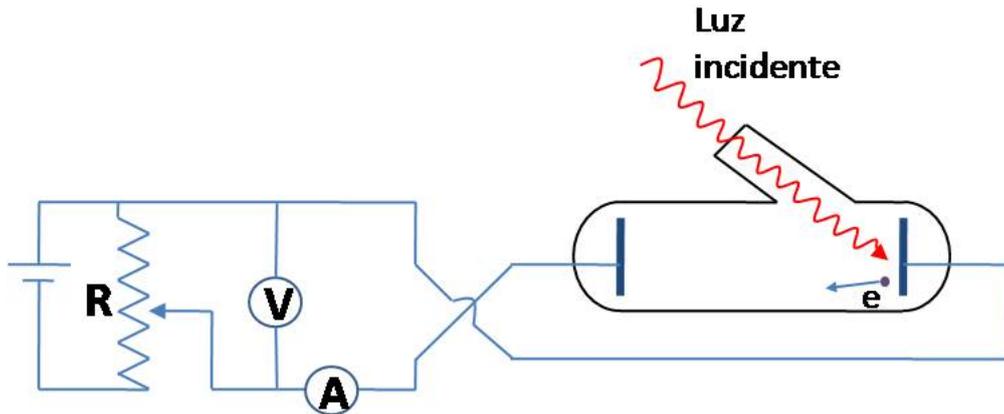


Figura 33 - Esquema da montagem para estudo do efeito fotoelétrico

Na verdade, os electrões de valência dos metais possuem energias tão próximas que são considerados uma banda de electrões, também denominada banda de condução. Para que o electrão possa abandonar o metal, é necessário fornecer-lhe energia suficiente para vencer a barreira de potencial que o mantém no metal. Essa barreira de energia é denominada função de trabalho, ϕ , depende do metal e do estado em que se encontra a sua superfície. Deste modo, quando um fóton de energia $h \times \nu$ incide sobre uma superfície metálica originando um fotoelectrão, este fica com uma determinada energia cinética, E_c , que é o excesso de energia relativamente à função de trabalho:

$$E_{c,máx} = h \times \nu - \phi \quad (0.5)$$

Quando o potencial retardador aplicado iguala a energia cinética máxima, denomina-se potencial de extinção, $V_{R,0}$ e podemos escrever:

$$e \times V_{R,0} = h \times \nu - \phi \quad (0.6)$$

em que e é a carga do electrão.

Rearranjando a expressão anterior, podemos escrever:

$$V_{R,0} = -\frac{\phi}{e} + \frac{h \cdot c}{e} \cdot \frac{1}{\lambda} \quad (0.7)$$

em que h é a constante de Planck, c a velocidade das radiações electromagnéticas no vazio (velocidade da luz), e λ o comprimento de onda associado ao fóton incidente.

Quando se representa graficamente o potencial de extinção em função do inverso do comprimento de onda, obtém-se uma relação linear de cuja equação podemos estimar:

- A função de trabalho, ϕ , que se obtém a partir da ordenada na origem;
- O valor da constante de Planck, h , que se obtém a partir do declive.

b) Descrição do Equipamento

O equipamento para estudo do Efeito Fotoelétrico baseia-se numa fotocélula da marca Hamatsu, modelo R727². Esta fotocélula é sensível no intervalo de comprimentos de onda entre os 185 nm e os 650 nm, isto é, apresenta sensibilidade à radiação ultra violeta (UV) e à radiação visível.



Figura 34: Célula fotossensível da Hamamatsu

O diâmetro de tubo de 20 mm permite a utilização de tubos de instalação eléctrica de PVC com 20 mm de diâmetro para proteger o percurso da radiação luminosa entre o emissor e a fotocélula. Para que a luz ambiente não contamine os resultados, o tubo de PVC é revestido com uma fita isoladora preta.

O sistema emissor de radiação é constituído por três LEDs de alto brilho, com um ângulo de emissão de 30°, o que permite um feixe estreito de radiação a ser emitido para a célula fotossensível.



Figura 35 - Peça de encaixe dos LED's (Planta e alçado)

² A folha de características técnicas desta fotocélula pode ser encontrada em:
http://sales.hamamatsu.com/assets/pdf/catsandguides/Phototubes_TPT1001E07.pdf.

Os LEDs são de três cores diferentes³, embora todos radiação visível:

- **Vermelho** – possui uma lente cristalina, emitindo num pico de 660 nm, embora o comprimento de onda dominante seja de 640 nm. A sua linha espectral apresenta uma largura de apenas 20 nm, o que nos garante a monocromaticidade da radiação utilizada;
- **Verde** - possui uma lente cristalina, emitindo num pico de 565 nm, embora o comprimento de onda dominante seja de 568 nm. A sua linha espectral apresenta uma largura de apenas 30 nm, o que nos garante a monocromaticidade da radiação utilizada;
- **Azul** - possui uma lente cristalina, emitindo num pico de 430 nm, embora o comprimento de onda dominante seja de 455 nm. A sua linha espectral apresenta uma largura de 60 nm, o que ainda nos garante a monocromaticidade da radiação utilizada.

Os três LEDs foram fixados num apoio circular de acrílico, ocupando os vértices de um triângulo isósceles, o que nos dá garantias de que a radiação chega à célula fotossensível nas mesmas condições.

O tubo que constitui o sistema é constituído por duas secções de diâmetros diferentes:

- Na secção de menor diâmetro é fixado o círculo de acrílico com os LEDs;
- Na secção de maior diâmetro fixa-se numa das extremidades o tubo anterior e na outra extremidade a célula fotossensível.



Figura 36 - Dispositivo para efeito fotoelétrico

A – LEDs;

B – Circulo de Acrílico de fixação dos LEDs;

C – Tudo de menor diâmetro;

D – Tubo de maior diâmetro;

E – Célula Fotossensível.

³ As características técnicas dos LEDs podem ser encontradas em:

- Vermelho: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/01fe/0900766b801fef56.pdf>
- Azul: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/007d/0900766b8007dfc2.pdf>
- Verde: <http://docs-europe.electrocomponents.com/webdocs/01fe/0900766b801fee9c.pdf>

O sistema é montado numa caixa de suporte que possui um voltímetro e um amperímetro, bem como um selector do LED a acender. Permite ainda para cada uma das três cores disponíveis, seleccionar três intensidades luminosas diferentes, possibilitando assim analisar que a variação da intensidade não tem influência no efeito fotoeléctrico. O equipamento possui ainda uma bateria de 4,5 V, destinada a alimentar, quer os LEDs, quer o amperímetro e o voltímetro que, por serem digitais, exigem uma alimentação externa.

Os esquemas mostram os circuitos eléctricos da montagem no estudo efectuado, separando o circuito da fotocélula, do circuito dos LEDs, embora ambos os circuitos tenham uma alimentação eléctrica comum.

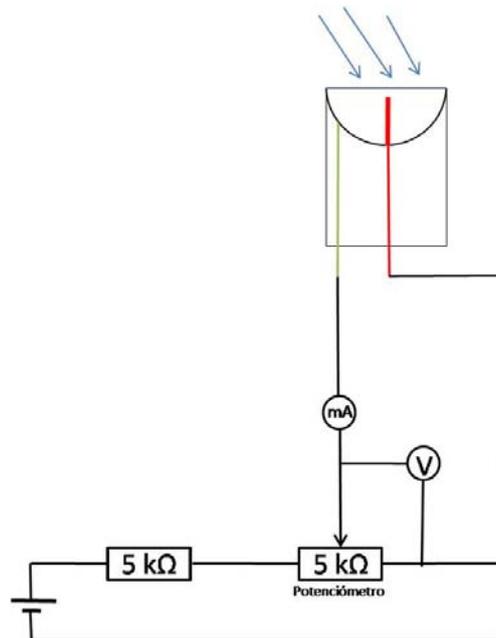


Figura 37 - Circuito da fotocélula.

Na figura seguinte está representado o circuito dos LEDs emissores.

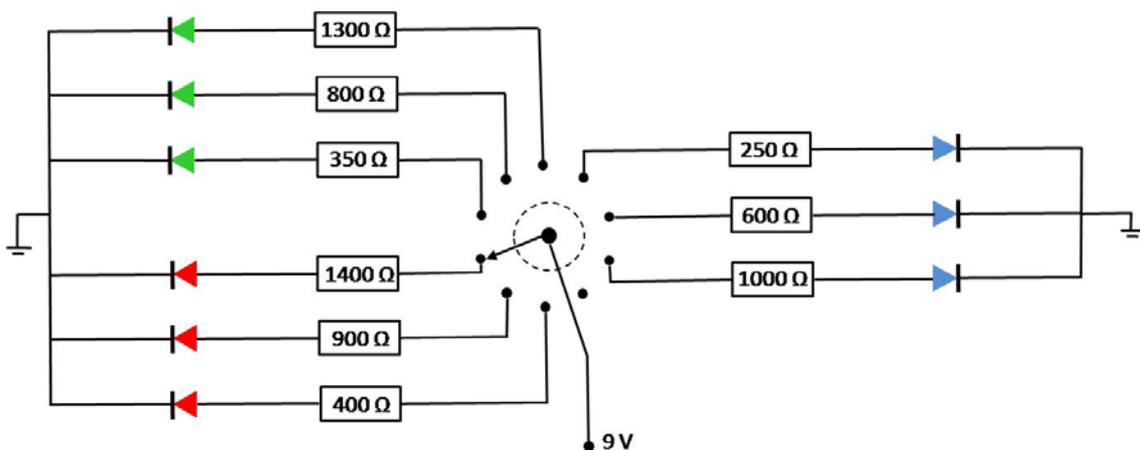


Figura 38 - Circuito dos LEDs emissores.

A montagem final do equipamento tem o aspecto seguinte:

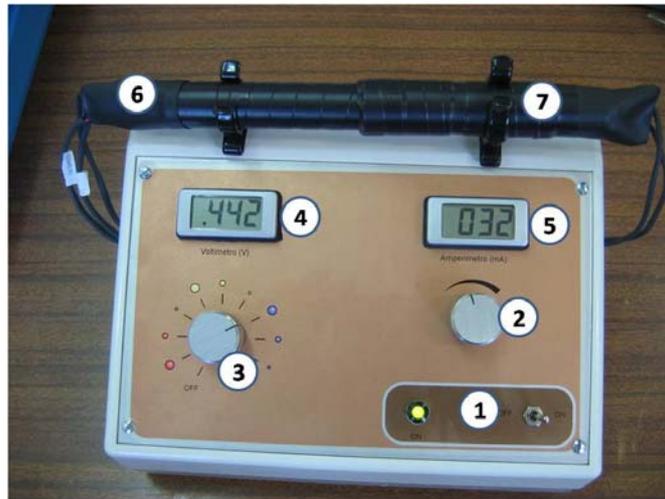


Figura 39 - Equipamento para Efeito Fotoelétrico

Legenda

- 1 Botão de *on / off*
- 2 Potenciómetro que permite procurar o potencial retardador
- 3 Selector da cor a emitir e da respectiva intensidade
- 4 Voltímetro, onde se lê o potencial retardador
- 5 Nanoamperímetro (20mA)
- 6 Local onde se encontram os LEDs emissores
- 7 Célula fotossensível

Antes de ligar a corrente, no interruptor 1, deve colocar-se o selector 3 na posição OFF, de modo a evitar a saturação da célula. De seguida, passar o selector 3 para a posição Vermelha de maiores dimensões: as dimensões do círculo indicam a intensidade da radiação que está a ser emitida, isto é, quanto maior for o raio do círculo de uma determinada cor, maior a intensidade da radiação dessa cor que está a incidir sobre a célula fotossensível. Deve agora rodar-se o Potenciómetro 2, de modo a conseguir anular o valor indicado no nanoamperímetro 5. Quando este valor for nulo, o voltímetro indica o valor do potencial de extinção para o comprimento de onda da radiação que estamos a utilizar.

c) Aplicações, Valores Típicos do Equipamento e Sugestões

- Aplicações

Este aparelho é particularmente indicado para o estudo qualitativo e quantitativo do efeito fotoelétrico. Utilizado em contexto de sala de aula, pode servir de motivação para a aprendizagem do efeito fotoelétrico. No laboratório, permite a determinação da função de trabalho da célula utilizada, ou a realização de uma estimativa experimental da constante de Planck.

O equipamento foi utilizado para demonstrar a independência da corrente produzida relativamente à intensidade da radiação a uma turma de 10.º ano. Os alunos **perceberam** que a corrente não se altera, a menos que a cor da radiação se altere. Ficaram no entanto desiludidos por não poderem visualizar a variação da intensidade da radiação, já que os LEDs se encontram fechados no tubo e este tem que ser opaco, tendo por isso que confiar nos círculos representados no painel do equipamento.

- Valores Típicos do Equipamento

As características mais relevantes dos três LEDs com que a célula funciona são:

Tabela 1 - Características dos LEDs utilizados

Cor Emitida pelo LED	Comprimento de onda do pico de emissão, λ / nm	Comprimento de onda dominante, λ / nm	Largura da Banda de emissão, em nm
Vermelho	660	640	20
Verde	565	568	30
Azul	430	455	60

Para estes três LEDs, os valores do potencial de extinção obtidos experimentalmente são:

Tabela 2 - Potenciais de extinção obtidos com o aparelho

Cor Emitida pelo LED	$V_{R,0}$ / mV
Vermelho	110
Verde	199
Azul	445

Fazendo a representação gráfica do potencial de extinção experimental em função dos comprimentos de ondas dominantes, em metro, obtém-se o gráfico seguinte:

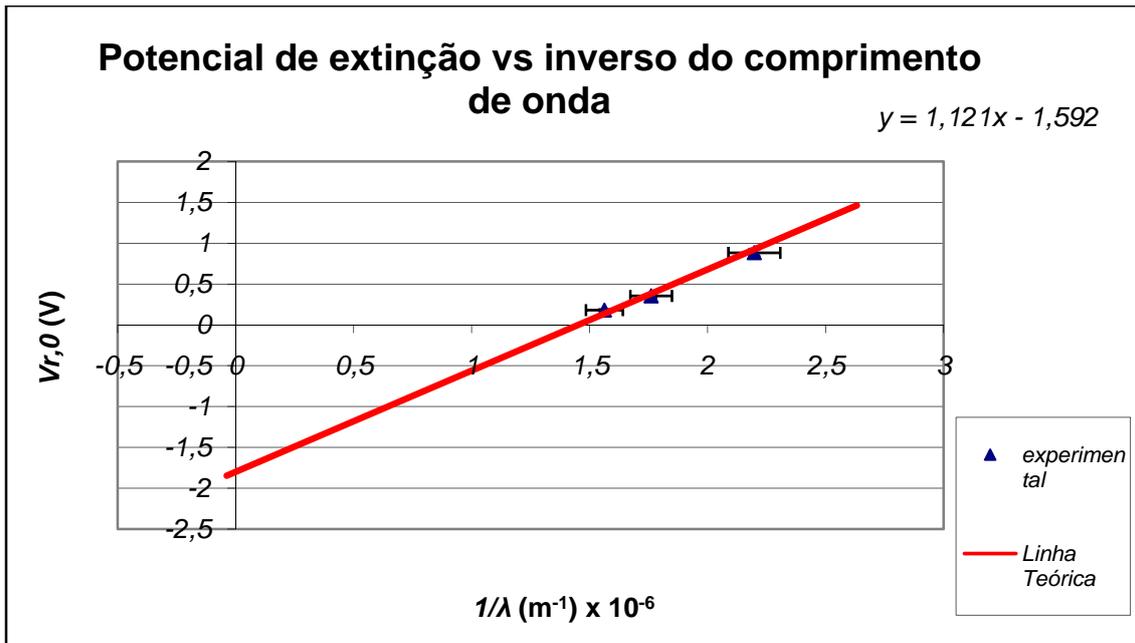


Gráfico 1 - Potencial de extinção em função do inverso do comprimento de onda

A intersecção da recta do Gráfico 1 com o eixo das ordenadas permite determinar o valor da função de trabalho. A recta representada neste gráfico é traçada recorrendo à expressão (0.7), utilizando o valor da constante de Planck tabelado. A equação da recta representada no gráfico resulta da regressão linear dos três pontos experimentais apresentados. Desta forma, e ao comparar a equação da recta obtida com a expressão (0.7), verifica-se que a ordenada na origem corresponde a $-\frac{\phi_1}{e}$, ou seja, o valor da função de trabalho é de 1,59 eV.

Pode ainda verificar-se pelo Gráfico 1, que os valores experimentais obtidos se encontram sobre a recta teórica, se considerarmos que o erro admitido para o comprimento de onda corresponde à largura da banda de emissão do LED respectivo.

O valor da constante de Planck pode ser estimado a partir do declive da recta obtida pelo ajuste aos pontos experimentais,

$$\text{Declive} = \frac{h \cdot c}{e} \quad (0.8)$$

pelo que a constante estimada será dada por:

$$h_{\text{estimado}} = \frac{\text{declive} \cdot e}{c} \quad (0.9)$$

Utilizando o declive obtido no gráfico, pode-se então determinar o valor estimado da constante:

$$h_{\text{estimado}} = 5,99 \times 10^{-34} \text{ J.s}$$

Este valor é da mesma ordem de grandeza do valor tabelado de $6,626 \times 10^{-34}$ J.s e pode considerar-se muito bom se tivermos em conta que foi determinado com um aparelho muito simples e bastante económico. Por outro lado, representam-se as barras de erro associadas aos valores experimentais. Na vertical, considerou-se a variação observada no voltímetro, quando se atingia o valor de corrente nula. Esta variação era na ordem dos 10 mV. Na horizontal, pode verificar-se que, a largura das bandas de emissão dos LEDs, são da ordem dos 20 nm a 30 nm, isto é cerca de 5% do valor medido. Assim, fixou-se esta percentagem para a largura das barras de erro. Como se pode observar, os valores experimentais obtidos situam-se todos dentro da recta calculada, o que vem reforçar a validade dos resultados obtidos com este aparelho.

- Custos de construção e equipamento necessário

Na tabela seguinte apresenta-se a listagem do material necessário para a construção deste aparelho, bem como a indicação do local onde o mesmo pode ser adquirido.

Tabela 3 - Lista de material necessário para o aparelho do Efeito Fotoelétrico

Quantidade	Descrição	Preço/ unidade	Referencia	Fornecedor
1	Resistência de 270 Ω , 0,33 W	0,03 €	132-182	pt.rs-online.com
2	Resistência de 470 Ω , 0,33 W	0,03 €	132-211	pt.rs-online.com
1	Resistência de 820 Ω , 0,33 W	0,03 €	132-249	pt.rs-online.com
2	Resistência de 1,1 k Ω , 0,33 W	0,04 €	132-501	pt.rs-online.com
3	Resistência de 2,4 k Ω , 0,66 W	0,04 €	132-589	pt.rs-online.com
1	Resistência de 5,1 k Ω , 0,66 W	0,04 €	132-668	pt.rs-online.com
1	Resistência de 100 k Ω , 0,66 W	0,04 €	132-491	pt.rs-online.com
1	Resistência de 1,0M Ω , 0,66 W	0,03 €	132-615	pt.rs-online.com
1	LED Vermelho Superbrilhante (5 unid)	1,10 €	247-1779	pt.rs-online.com
1	LED Azul Superbrilhante (5 unid)	2,15 €	247-1757	pt.rs-online.com
1	LED Verde Superbrilhante (5 unid)	1,06 €	247-1735	pt.rs-online.com
1	LED painel verde	1,21 €	355-6461	pt.rs-online.com
2	Voltímetros Digitais LASCAR	30,94 €	351-7567	pt.rs-online.com
1	Célula Fotossensível Phototube Hamamatsu	100,00 €	R727	Hamamatsu
1	Potenciômetro 10 k Ω	1,20 €	168-140	pt.rs-online.com
1	Comutador rotativo 12 posições	1,55 €	320-180	pt.rs-online.com
1	Interruptor de 2 vias on-on 3A	2,89 €	190-0664	pt.rs-online.com
2	Suportes de tubo	Inferior a 1,00€		Casa de artigos de electricidade
15 cm	Tubo eléctrico VD 20mm	Inferior a 1,00€		
1	Ligação de tubo VD20mm	Inferior a 1,00€		
2	Suportes de Ligação para pilhas de 9V	0,40 €	489-021	pt.rs-online.com
2	Pilhas de 9 V (10 unidades)	2,66 €	514-5228	pt.rs-online.com
1	Caixa plástica com mostrador inclinado	41,19 €	584-924	pt.rs-online.com

O custo total deste projecto é assim de cerca de 150,00€. No entanto, este valor fica a dever-se a um factor que pode ser tido em conta: os voltímetros utilizados são digitais, o que encarece a montagem. Poderia optar-se pela utilização de dois multímetros digitais adquiridos nas “casas chinesas”, o que baixaria o custo para cerca de 100,00€. Uma outra forma de baixar o custo, sem pôr em causa o resultado final, seria a opção por uma caixa plástica mais económica, que ronda os 5,00€. Pode, assim, implementar-se este instrumento por cerca de 90,00€, o que é uma significativa redução face aos cerca de 500,00€ que custa um equipamento com funções semelhantes, produzido pela PASCO Scientific (<ftp://ftp.pasco.com/Support/Documents/English/AP/AP-9368/012-04049j.pdf>) com o qual se obtêm resultados com valores com erros semelhantes aos obtidos com este equipamento rudimentar.

- **Sugestões**

Este equipamento é uma versão protótipo. Como tal, apresenta diversos aspectos que poderão ser melhorados nas versões subsequentes. As sugestões apresentadas são

baseadas neste pressuposto, isto é, que vão ser incorporadas nas versões que se seguirão a esta.

Mostrou-se redutor do efeito pretendido o facto de as cores dos LEDs utilizados serem apresentadas com pequenos círculos impressos. Seria mais útil que estas fossem apresentadas com micro LEDs cuja cor e intensidade variassem da mesma forma que os LEDs interiores do sistema. Deste modo o estudante tem contacto directo com a intensidade da radiação emitida e não apenas confiando no que lhe diz o operador.

Por outro lado, é importante a introdução da possibilidade de alimentação do equipamento com uma fonte externa e não apenas com baterias, tornando-o mais económico. De salientar ainda que o facto de não se terem estabelecido os limites inferior e superior de tensão produzida na célula fotossensível, faz com que o intervalo de procura seja muito elevado e que frequentemente se saia do intervalo de trabalho do miliamperímetro e do milivoltímetro. É pois importante o estabelecimento destes limites, pela introdução de resistores com resistências fixas no sistema.

Finalmente, será importante nas próximas versões considerar a hipótese de pintar o interior do tubo por onde circula a radiação com tinta preta sem brilho, para evitar os efeitos da reflexão da radiação e para aumentar a opacidade do sistema, relativamente à radiação ambiente. Podemos assim minimizar o efeito da radiação reflectida e garantir que quando todos os LEDs se encontram desligados, a corrente na célula é praticamente nula.

Para aumentar a precisão do sistema, seria importante a introdução de pelo menos mais um LED, de cor diferente, ou mesmo no campo dos ultravioletas ou dos infravermelhos. Aumentando o número de pontos, pode melhorar-se a precisão da recta de regressão utilizada para estimar a função de trabalho e a constante de Planck.

Em termos de robustez, o aparelho apresenta-se adequado ao nível etário dos utilizadores a que se destina. Poderia ser interessante que o painel superior do equipamento fosse transparente, para eliminar o efeito da caixa negra, que tanto pode fazer para o surgimento ou reforço de concepções alternativas juntos dos alunos, especialmente os mais novos.

d) Sugestões Didácticas

Este aparelho tem aplicações em diversos anos de escolaridade, nomeadamente ao nível do ensino secundário.

O efeito fotoeléctrico é abordado na disciplina de Física e Química A, ano 1, na sua Unidade 1 – Das Estrelas ao Átomo, do domínio da Química. No programa da referida disciplina, este efeito surge como uma aplicação tecnológica da interacção Radiação – Matéria, estabelecendo os seguintes objectivos:

- Estabelecer a relação entre a energia de radiação incidente, a energia mínima de remoção de um electrão e a energia cinética do electrão emitido quando há interacção entre a radiação e um metal;
- Identificar algumas aplicações tecnológicas da interacção radiação – matéria, nomeadamente o efeito fotoeléctrico.

(I. Martins et al., 2001)

A utilização deste equipamento pode ser qualitativa, mostrando as diversas cores das radiações utilizadas e as suas intensidades relativas. Pode-se, utilizando os comprimentos de onda dos picos de emissão, estabelecer a relação entre esta grandeza e a frequência e a energia da radiação emitida.

Num procedimento mais elaborado é possível utilizar-se um espectrómetro para detectar experimentalmente o comprimento de onda da radiação emitida, bem como a sua intensidade. Para isso, recorre-se ao sistema GLX[®] da PASCO Scientific, com o sensor PS- 2635, que permite a detecção automática das referidas grandezas.

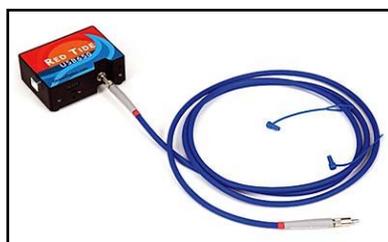


Figura 40- Espectrómetro PS-2635 da PASCO.

Finalmente, utilizando a possibilidade de variar a intensidade da radiação emitida pode inferir-se a independência existente entre esta grandeza e a energia dos fotoelectrões emitidos.

No 12.º ano de Física o programa prevê o estudo do efeito fotoeléctrico na Unidade III – Física Moderna, ponto 2 – Introdução à Física Quântica. Neste ponto do programa, indicam-se os seguintes objectivos a serem alcançados pelos alunos no final da unidade:

- Associar o comportamento corpuscular da luz ao efeito fotoeléctrico e o comportamento ondulatório a fenómenos de difracção e interferência.
- Caracterizar qualitativamente a interacção da radiação com a matéria no efeito fotoeléctrico, no efeito de Compton e na produção e aniquilação de pares de partículas.
- Explicar o efeito fotoeléctrico com base na teoria dos fotões de Einstein.
- Interpretar e aplicar a expressão do efeito fotoeléctrico.
- Indicar aplicações tecnológicas do efeito fotoeléctrico.

(Fiolhais, Cardoso, Paixão, Sousa, & Nogueira, 2004)

Relativamente às sugestões metodológicas, o Programa refere o seguinte:

Recordar o efeito fotoeléctrico estudado no 10º ano, ainda sem aprofundamento, e referir que o modelo ondulatório da luz (introduzido no 11º ano) foi incapaz de o explicar.

(...)

Relembrar do 11º ano que a luz, ao incidir sobre uma superfície, sofre um processo de absorção que depende da sua frequência e do material onde incide. Após definir radiação ionizante e não ionizante e sua localização no conjunto das radiações electromagnéticas, estudar o efeito da interacção de radiação não ionizante (microondas, infravermelhos, luz visível e ultravioleta de baixa frequência) com a matéria. Mostrar que a interacção de fótons de maior energia com a matéria origina diferentes processos – efeito fotoeléctrico, efeito (espalhamento) de Compton, produção de pares de partículas – e que a probabilidade de ocorrência desses fenómenos depende da radiação electromagnética incidente e do material absorvor.

Mostrar que a teoria dos fótons explica os referidos fenómenos. Caracterizar o efeito fotoeléctrico, escrevendo a respectiva expressão e aplicando-a na resolução de exercícios e problemas.

(...)

(Fiolhais, Cardoso, Paixão, Sousa, & Nogueira, 2004)

Deste modo, o tratamento que se pode fazer dos dados fornecidos pelo aparelho pode agora ser quantitativo, introduzindo nesta unidade um trabalho de carácter experimental que o programa não prevê devido à dificuldade de serem adquiridos os equipamentos necessários pelas escolas.

O trabalho pode ter início com a medição dos comprimentos de ondas da radiação emitida pelos LEDs utilizados e o estabelecimento da relação entre o comprimento de onda e a energia da radiação. Uma vez estabelecidos estes valores, são determinados os potenciais de extinção para cada uma das cores disponíveis. A sua representação em função do inverso do comprimento de onda permite, como se viu, a determinação de uma estimativa experimental da constante de Planck, bem como da função de trabalho do metal utilizado na célula fotossensível.

Na discussão sobre as diferenças entre o valor estimado e o valor tabelado pode residir um dos focos de interesse deste trabalho, especialmente no contexto da disciplina de Física de 12.º ano, na qual o objectivo principal é o da aprendizagem da Física pela Física e não com vista a um exame final, tantas vezes limitador de aprendizagens significativas.

A utilização deste equipamento tem como principal aliado a diminuição da “retórica” instrutora, aumentando o grau de interacção dos alunos com a sua aprendizagem, o que a pode tornar mais motivadora e, sobretudo, contextualizada. É assim menos necessário o recurso a esquemas, e à imaginação do aluno, por vezes tão difícil de cativar para estes assuntos pouco vivenciados.

4.2. Transmissão de Som por Fibra Óptica

a) Anotações e Referências

O processo mais frequente de transmitir o som a distâncias relativamente afastadas, dentro de um mesmo edifício, é o da utilização de condutores de cobre que transmitam um sinal eléctrico. Assim, para se transmitir um sinal sonoro, através de um suporte físico sólido, são precisos três equipamentos: O microfone, o condutor de transmissão e o altifalante. A descrição simples do seu funcionamento é a seguinte:

i) Microfone

Os microfones mais comuns são os chamados Dinâmicos. São constituídos por um diafragma muito fino que se encontra unido a uma bobina de cobre, exterior a um forte campo magnético. Quando as ondas de pressão de ar, portadoras do som, atingem o diafragma, este move-se e faz mover a bobina em dois sentidos opostos no exterior do campo magnético, induzindo uma corrente eléctrica. Esta corrente é normalmente amplificada e transmitida ao suporte físico que o vai levar até ao receptor.

ii) Suporte físico de transmissão

O suporte físico de transmissão do sinal eléctrico é normalmente um condutor de cobre, isolado por uma manga de plástico, que o isola do exterior. Esta forma de transmissão de sinais eléctricos pode implicar perdas de sinal e pode ser susceptível a interferências de natureza electromagnética, o que distorce a qualidade do sinal eléctrico e por vezes destrói-o completamente, impossibilitando a sua chegada ao receptor. Por outro lado, impede a transmissão simultânea de vários sinais no mesmo condutor, o que implica que haja um condutor para cada sinal que se pretende transmitir.

iii) Altifalante

O altifalante converte sinais eléctricos em vibrações, num processo inverso ao que ocorre no microfone. Os altifalantes de indução têm uma constituição semelhante à dos microfones. Deste modo, a corrente eléctrica recebida através do suporte de transmissão passa pela bobina, variando de acordo com os sinais que lhe foram enviados pelo microfone, criando um campo magnético variável. Este vai interagir com o campo magnético crido pelo íman, fazendo a bobina oscilar com a frequência e a amplitude correspondente. Tudo se passa como se se trata-se da interacção entre dois ímanes que ora se atraem ora se repelem. Como a bobina se encontra ligada ao diafragma, fá-lo vibrar com essa mesma amplitude e frequência. Esta vibração reproduz os sons originais.

Uma forma mais recente de transmitir o som, que permite grandes vantagens relativamente à diminuição das distorções, perda de sinal e rapidez de transmissão, consiste em substituir o meio transmissor do sinal por fibras ópticas.

As fibras ópticas são equipamentos relativamente recentes, embora o seu princípio de funcionamento tenha sido demonstrado por Daniel Colladon and Jaques Babinet em 1840 (Wikipedia, 2007). São constituídas por filamentos de vidro ou de materiais poliméricos, e possuem a capacidade de transmitir luz. Estes filamentos apresentam diâmetros muito variáveis, podem ir desde os micrómetros aos milímetros. A escolha de um determinado diâmetro prende-se com a finalidade a que a fibra se destina. O funcionamento da fibra óptica baseia-se no princípio da reflexão total de um feixe de luz. Assim, um feixe introduzido numa das extremidades da fibra sofre reflexões totais sucessivas, até que o feixe atinge a outra extremidade da fibra. Para que isso aconteça, é necessário garantir determinadas características na constituição da fibra.

A fibra é constituída pelo menos por duas camadas: o núcleo e o revestimento. O núcleo é constituído pelo vidro ou material polimérico, e é por ele que passa o feixe de luz. O revestimento, que possui necessariamente um índice de refração inferior ao do núcleo, garante, em conjunto com o ângulo de incidência, a ocorrência da reflexão total.

O fenómeno da reflexão total ocorre porque o raio refractado se afasta da normal, uma vez que a luz passa de um meio opticamente menos denso, para um meio opticamente mais denso. Desta forma, à medida que o ângulo de incidência aumenta, o raio refractado vai-se aproximando cada vez mais da superfície de separação entre os dois meios. Para um determinado ângulo de incidência, denominado **ângulo crítico**, observa-se que a luz é toda reflectida.

O ângulo crítico, ou limite, θ_c , é o ângulo de incidência que dá origem a um ângulo de reflexão de $\frac{\pi}{2}$, o que acontece quando $n_2 > n_1$, sendo n_2 o índice de refração do material que constitui o núcleo e n_1 o índice de refração do meio que constitui o revestimento.

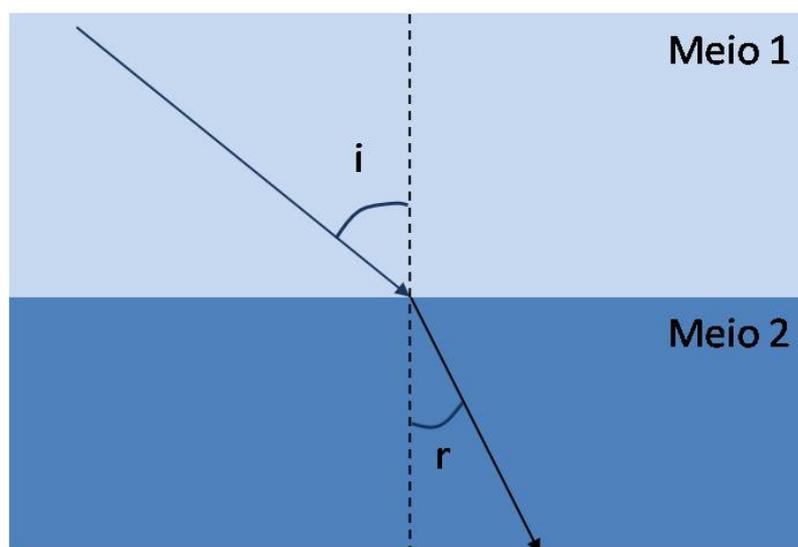


Figura 41 - Esquema da refração de um feixe luminoso.

Assim, recorrendo à Lei de Snell – Descartes,

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin r' \quad (0.10)$$

em que

i → ângulo que o raio incidente faz com a normal à superfície de separação entre o núcleo e o revestimento;

r' → ângulo que o raio reflectido faz com a normal à superfície de separação entre o núcleo e o revestimento.

podemos escrever, para um ângulo de reflexão de $\frac{\pi}{2}$, a condição de **reflexão total**:

$$\text{sen } \theta_c = \frac{n_{\text{núcleo}}}{n_{\text{revestimento}}} \quad (0.11)$$

Relativamente ao processo anterior de transmissão do som, é necessário agora introduzir um sistema que converta os impulsos eléctricos provenientes do microfone, em impulsos luminosos, o que é feito recorrendo a um fotodíodo emissor adaptado para as fibras ópticas, precedido por um sistema amplificador de sinal, baseado num componente electrónico LM741. A fibra óptica transmite o impulso luminoso assim gerado e que é detectado por um outro fotodíodo, agora detector de impulsos luminosos. Este fotodíodo converte os impulsos luminosos em sinais eléctricos, que após amplificação num sistema baseado no componente electrónico LM386, são alimentados ao sistema de altifalante.

b) Descrição do Equipamento

O equipamento é constituído por três componentes:

- i) Emissor de Sinal
- ii) Transmissor de sinal
- iii) Receptor de Sinal

Para além destes três componentes, é ainda necessário um microfone. Descreve-se de seguida a constituição dos três componentes.

i) Emissor de Sinal

O dispositivo emissor de sinal destina-se a receber o sinal eléctrico produzido no microfone e transforma-lo em impulsos luminosos, introduzindo-os na fibra óptica.

O circuito eléctrico utilizado é bastante simples, podendo representar-se da seguinte forma:

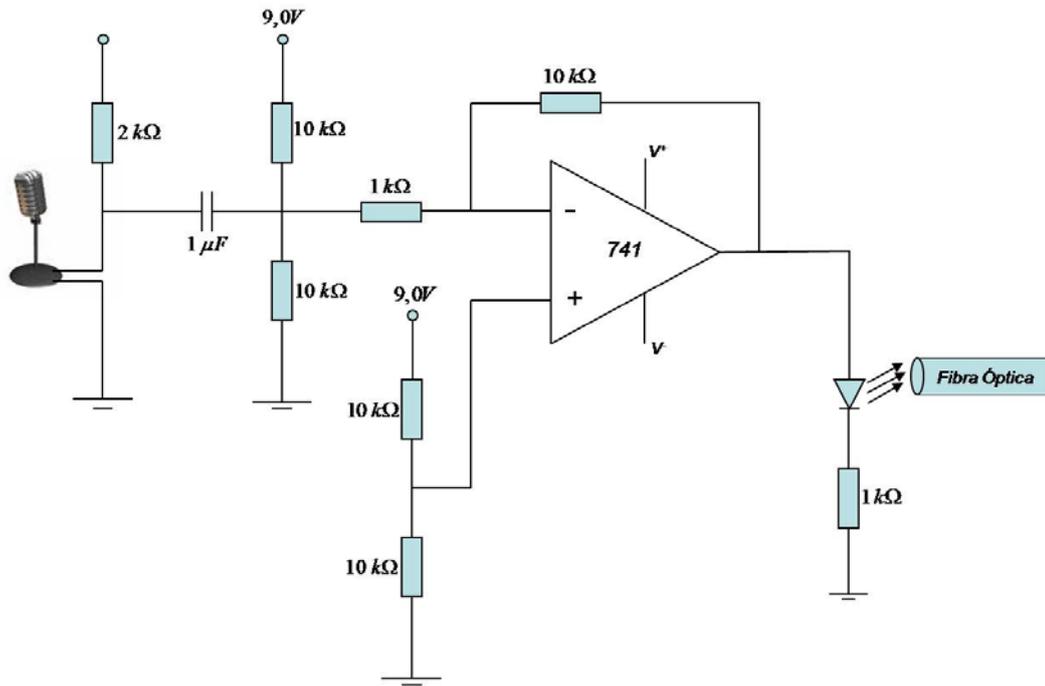


Figura 42 - Representação do circuito eléctrico do dispositivo emissor de som

Como se pode ver, para além do circuito integrado LM741, todos os outros componentes electrónicos são bastante comuns, baseado num amplificador inversor com ganho 10, consistindo apenas em resistências e um condensador. Este circuito pode ser montado numa placa de circuito impresso genérica, cortada à medida da caixa onde vai ser montada, e à qual se soldam todos os componentes. A placa mais interessante para este trabalho é a que se representa na figura seguinte:

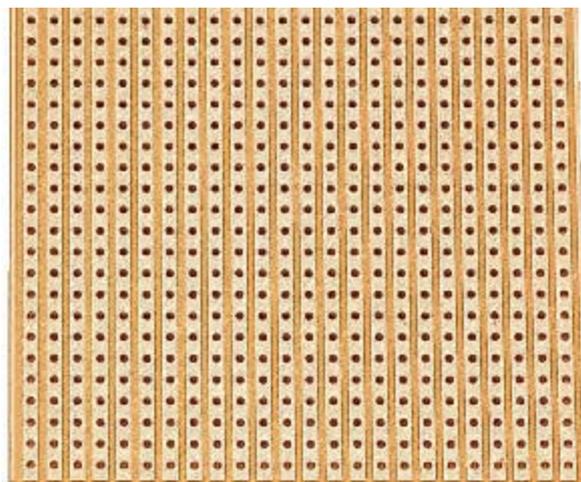


Figura 43 - Placa com pistas de cobre

Estas placas são muito versáteis pois permitem a construção de qualquer circuito electrónico, sem os custos associados à elaboração de uma placa dedicada. Depois de montados os acessórios indicados no esquema da Figura 42, a placa fica com a aparência seguinte:

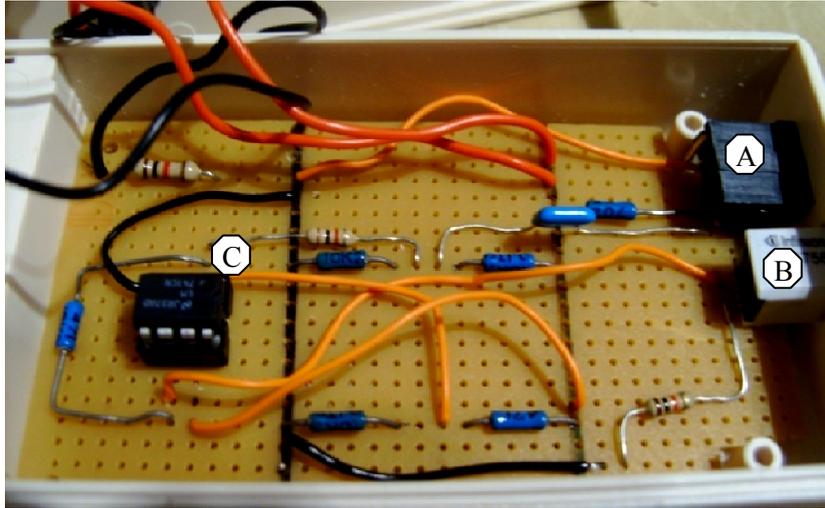


Figura 44 - Fotografia da placa do sistema emissor de som

Do lado direito da foto podem ver-se a ficha *jack* para ligação do microfone (A) e o acessório com o LED emissor para fibra óptica (B). O circuito integrado LM741 (C) encontra-se montado num suporte adequado para placas de circuito.

Na tampa do aparelho é fixado um interruptor que fecha o circuito sempre que é pressionado, acendendo um LED verde, indicador de que o sistema está pronto para receber o som a emitir. A alimentação eléctrica do sistema é garantida por uma pilha de 9 V (6LR61), que se encontra no recipiente próprio da caixa utilizada para a construção deste equipamento.

O sistema completamente montado tem a aparência seguinte:



Figura 45 - Sistema emissor de som por fibra óptica

Para funcionar é necessário ligar um microfone à ficha *jack* referenciada na Figura 44 pela letra A, e a fibra óptica ao LED referenciado na mesma figura pela letra B. A fibra é ligada ao receptor. Para emitir um som, pressiona-se o interruptor o que provoca o acendimento do LED. Nesta altura o sistema está pronto para emitir o som pretendido.

ii) Transmissor de sinal

O transmissor de sinal é uma fibra óptica de 2 mm de diâmetro, e com 25 metros de comprimento. O sinal luminoso introduzido na fibra sofre sucessivas reflexões totais pelo que se propaga até à outra extremidade da fibra.

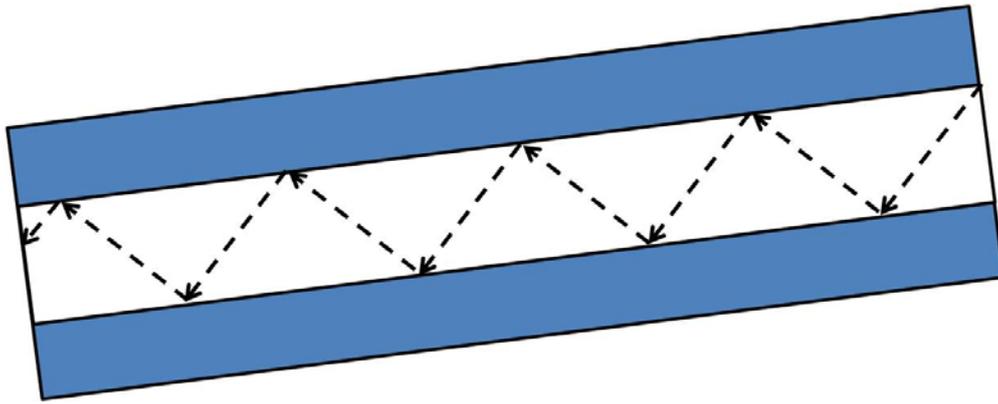


Figura 46 – Reflexões totais que ocorrem numa fibra óptica

Este sinal luminoso é transmitido sem sofrer perdas de sinal ou interferências do exterior, garantindo a recepção do sinal nas melhores condições.

iii) Receptor de Sinal

O dispositivo receptor de sinal destina-se a receber o sinal transportado pela fibra óptica e a introduzi-lo num altifalante, permitindo assim a audição do som que foi emitido.

O circuito eléctrico em que se baseia este sistema encontra-se publicado na folha técnica do componente electrónico LM386:

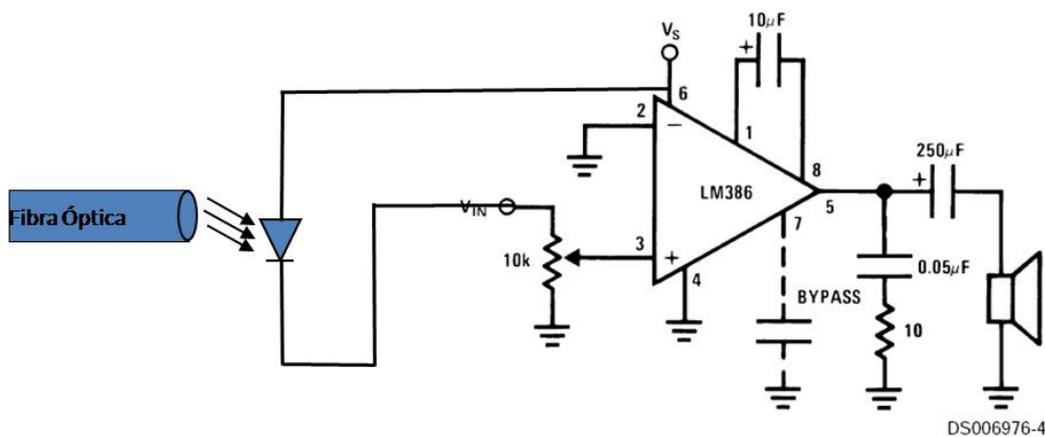


Figura 47 - Circuito de amplificação baseado no componente LM386.

O sinal proveniente do LED é ligado ao potenciómetro que liga ao pino número 3 do componente electrónico. O sinal amplificado sai no pino número 5 que se liga ao altifalante.

O circuito é montado com recurso a uma placa com pistas de cobre (Figura 43), cortada à medida do local onde vai ser montada, e à qual se soldam todos os componentes.

O componente electrónico tem que ser alimentado com corrente contínua, o que pode ser feito quer com uma bateria de 9 V, quer utilizando um transformador.

O esquema de funcionamento do equipamento emissor e receptor é o que se apresenta na figura seguinte.

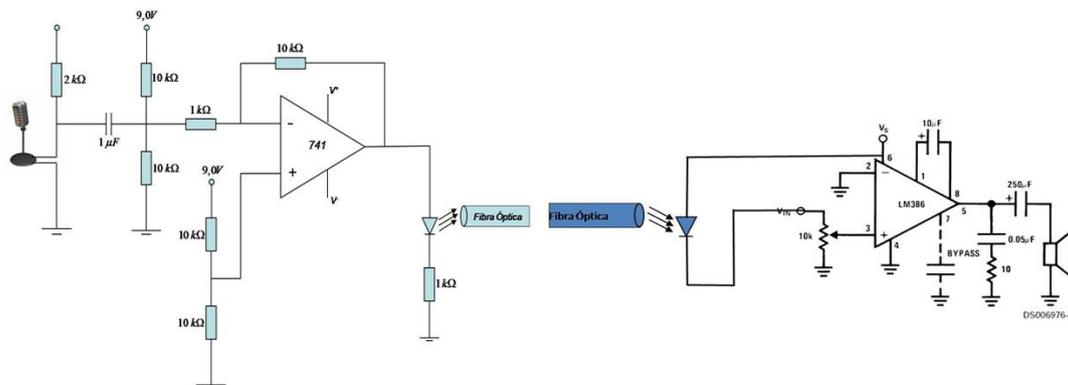


Figura 48 - Esquema do sistema completo, incluindo emissor e receptor

c) Aplicações e valores típicos do equipamento

Este equipamento tem uma aplicação essencialmente qualitativa. Constitui uma excelente forma de demonstrar a transmissão do som utilizando uma radiação electromagnética, conceito muito difícil de interiorizar pela maioria dos alunos.

Por outro lado, é uma forma experimental de demonstrar o efeito da reflexão total, conceito abordado no ano 2 de Física e Química A, e para o qual não é muito fácil de encontrar equipamentos que permitam esta demonstração.

Para utilizar o equipamento, o sistema emissor e o receptor não devem estar na mesma sala, uma vez que assim não é possível receber o sinal emitido directamente através do ar, isto é, na forma de onda sonora.

- Custos de construção e equipamento necessário

Na tabela seguinte apresenta-se a listagem do material necessário para a construção deste aparelho, bem como a indicação do local onde o mesmo pode ser adquirido.

Tabela 4 – Lista de material necessário para os aparelhos de emissão e recepção de som

Quantidade	Descrição	Preço/ unidade	Referencia	Fornecedor
1	Resistência de 1,1 k Ω , 0,66 W	0,04 €	132-501	pt.rs-online.com
1	Resistência de 2,2 k Ω , 0,66 W	0,03 €	131-299	pt.rs-online.com
5	Resistência de 10 k Ω , 0,66 W	0,04 €	132-731	pt.rs-online.com
1	Potenciómetro de 10 k Ω 1/8 W	1,20 €	168-140	pt.rs-online.com
1	Condensador de 0,47 μ F	0,07 €	228-6830	pt.rs-online.com
1	Condensador de 1,0 μ F	0,15 €	224-2480	pt.rs-online.com
1	Condensador de 10,0 μ F	0,18 €	315-0805	pt.rs-online.com
1	Condensador de 270,0 μ F	0,66 €	315-0861	pt.rs-online.com
1	LED emissor para fibra óptica	8,42 €	212-787	pt.farnell.com
1	LED receptor para fibra óptica	10,61 €	212-805	pt.farnell.com
1	LED painel verde	1,21 €	355-6461	pt.rs-online.com
1	LM 741	0,51€	535-9969	pt.rs-online.com
1	LM 386	0,64€	534-2905	pt.rs-online.com
2	Socket DIL de 8 vias	11,43€	542-3537	pt.rs-online.com
1	Placa com pistas de cobre	8,35€	434-217	pt.rs-online.com
1	Ficha jack fêmea	4,86€	329-9691	pt.rs-online.com
1	Altifalante	4,42€	267-6930	pt.rs-online.com
2	Suportes de Ligação para pilhas de 9V	0,40€	489-021	pt.rs-online.com
1	Interruptor de pressão	0,35€	339-263	pt.rs-online.com
2	Pilhas de 9 V (10 unidades)	2,66€	514-5228	pt.rs-online.com
1	Caixa plástica com baia para bateria	17,73€	584-592	pt.rs-online.com

O custo total deste projecto é assim de cerca de 70,00€. No entanto, neste valor não se toma em conta o valor da fibra óptica, que custa 137,30€, na Farnell (100m). Por outro lado, as caixas utilizadas para o projecto podem ser substituídas por modelos equivalente de outras marcas, normalmente disponíveis nas casas de electrónica, a preços bastante mais baixos. Por exemplo, a caixa utilizada no protótipo aqui apresentado custou apenas 3,5€.

- **Sugestões**

Este equipamento é uma versão protótipo. Como tal, apresenta diversos aspectos que poderão ser melhorados nas versões subsequentes. As sugestões apresentadas são baseadas neste pressuposto, isto é, que vão ser incorporadas nas versões que se seguirão a esta.

A primeira sugestão a registar é o facto de o sistema receptor do sinal luminoso (e portanto, retransmissor de som) poder ser instalado numa coluna de computador. Estes aparelhos existem em grande número nas escolas, avariados ou parcialmente avariados. No entanto, a avaria raramente se localiza no altifalante pelo que é possível

reduzir-se ao custo total pelo menos o custo deste acessório. Nos casos em que a coluna de encontro em melhor estado consegue-se utilizar o amplificador da coluna de som e o seu sistema de alimentação de corrente para o aparelho a construir (foi o caso do aparelho protótipo construído).

Mostrou-se insuficiente o facto de a coluna de som não possuir a possibilidade de ligação a um osciloscópio ou a um sensor de diferença de potencial, como por exemplo o PS-2115 da PASCO.



Figura 49 - Sensor de corrente e de tensão, que permite medir e registar a variação ao longo do tempo

Esta ligação permitiria visualizar a variação da tensão em função do tempo, e portanto ter uma noção das diferenças entre os diversos sons transmitidos pelo sistema.

Em termos de robustez, o aparelho apresenta-se adequado ao nível etário dos utilizadores a que se destina. Poderia ser interessante que o painel superior do equipamento fosse transparente, para eliminar o efeito da caixa negra, que tanto pode fazer para o surgimento ou reforço de concepções alternativas juntos dos alunos, especialmente os mais novos. Este efeito é particularmente útil ao nível do 3.º Ciclo, nomeadamente no tema organizador “Viver Melhor na Terra”, no qual os circuitos eléctricos e electrónicos são abordados, pedindo ao aluno que consiga identificar os componentes electrónicos presentes nestes aparelhos.

d) Sugestões Didácticas

Este sistema é um recurso utilizável no 8º ano de Ciências Físico – Químicas, pois é neste ano de escolaridade que o tema da reflexão total é abordado pela primeira vez, nomeadamente no tema organizador da Sustentabilidade na Terra, no tema “Som e luz”, subtema “Propriedade e aplicações da luz”.

Assim, é possível ilustrar-se a temática da reflexão total, com uma aplicação prática e em funcionamento. Desligando a fibra óptica do sistema de recepção, mostra-se ao aluno que o que se transmite é um sinal luminoso e não sonoro.

Por outro lado, como a temática é abordada a seguir à do Som, consegue-se explorar a integração dos dois sinais: o sonoro e o luminoso. Será ainda de se fazer uma referência à conversão dos sinais, aproveitando para introduzir a ideia de que o som pode não ser transmitido como onda sonora mas como uma sinal electromagnético, que é o que se utiliza cada vez mais nas transmissões a longas distâncias.



Figura 50 – Iluminação das pontas das fibras ópticas, verificando a transmissão da luz ao longo das mesmas.

A utilização deste equipamento será um dos meios para atingir o objectivo indicado nas orientações programáticas, nomeadamente:

“No terceiro tema – Sustentabilidade na Terra – pretende-se que os alunos tomem consciência da importância de actuar ao nível do sistema Terra, de forma a não provocar desequilíbrios, contribuindo para uma gestão regrada dos recursos existentes. Para um desenvolvimento sustentável, a educação deverá ter em conta a diversidade de ambientes físicos, biológicos, sociais, económicos e éticos. A aprendizagem das ciências numa perspectiva global e interdisciplinar, em que se valorize as competências e os conhecimentos pela aprendizagem activa e contextualizada, a pesquisa, a comunicação, a tomada de decisões, contribuirá para um futuro sustentado.”

(Galvão et al., 2001)

Com recurso a este equipamento, consegue-se aliar a motivação para a aprendizagem, evitando o carácter exclusivamente expositivo das aulas, a uma contextualização dos conceitos cuja aprendizagem se pretende que os alunos desenvolvam. Ao nível do ensino básico, este equipamento pode ser utilizado na sequência da utilização da árvore de Natal feita com fibras ópticas, já descrita na secção 0 (b)Descrição, valores típicos e sugestões didácticas dos Equipamentos iii) Árvore de Natal).

No ano 2 de Física e Química A aborda-se a temática das Comunicações, nomeadamente as formas de transmitir um sinal sonoro a curtas e a longas distâncias. É ainda referida a utilização de fibras ópticas para a transmissão de informação a longas distâncias:

“Objectivos de aprendizagem

Esta Unidade permitirá ao aluno saber (...)

2.2. Comunicação de informação a longas distâncias (...)

- Reconhecer as propriedades da fibra óptica para guiar a luz no interior da fibra (transparência e elevado valor do índice de refração)”

(I. P. Martins et al., 2003)

Mais à frente, quando o programa se refere às actividades práticas de sala de aula, indica:

“• Exploração crítica de uma experiência sobre propagação de informação por fibra óptica

O professor deverá verificar se o aluno é capaz de:

- reconhecer a necessidade de modular o sinal electromagnético de um laser com um sinal sonoro
- identificar o processo de propagação na fibra óptica por sucessivas reflexões internas
- reconhecer a necessidade de desmodular o sinal e transformá-lo de novo em sinal sonoro para se tornar audível.”

(I. P. Martins et al., 2003)

A utilização deste equipamento será uma forma de responder à solicitação do programa adoptado, nomeadamente se for colocada uma saída de sinal para ligação a um osciloscópio ou a um sensor de tensão, de forma a poder registar o sinal sonoro em função do tempo.

Como introdução à utilização da fibra óptica, desliga-se esta quer do emissor, quer do receptor e com um emissor laser de baixo custo (ver 3.2. A Física com Equipamentos Simples das “Lojas Chinesas” desta dissertação) introduzir o feixe na fibra e verificar que a transmissão só é conseguida em determinadas posições do feixe em relação à fibra.

4.3. Receptor de Infravermelhos

a) Anotações e Referências

A radiação infravermelha foi descoberta em 1800 por Frederick William Herschel, famoso pela sua descoberta do planeta Úrano. Tendo conhecimento dos trabalhos de Newton sobre a difracção da radiação branca, quando esta atravessa um prisma, Herschel colocou então a hipótese de que as diversas cores do espectro assim originado possuiriam diferentes “níveis de calor”. Imaginou assim uma experiência que possibilitava a medição de variações de temperatura provocadas pelas das diversas cores de radiação. Chegou à conclusão, hoje bem conhecida, que a cor vermelha provocava uma maior variação na temperatura que as outras cores. Medindo a variação da temperatura para lá do vermelho, verificou que a temperatura ainda sofria maior variação, pelo que descobriu uma forma de luz, invisível para o olho humano – a radiação infravermelha. Descobriu ainda uma forma de transferência de calor até aí desconhecida, feita através da radiação electromagnética (Electrophysics, 2008).

A partir desta descoberta, as aplicações tecnológicas que recorrem às radiações infravermelhas foram rapidamente desenvolvidas, uma vez que se verificou ser uma excelente forma de medição indirecta de temperaturas: medindo as radiações infravermelhas emitidas por um corpo, consegue-se estimar a temperatura a que ele se encontra. Daí a sua aplicação nas mais diversificadas aplicações médicas, astronómicas entre outras.

A sua aplicação mais corrente e acessível ao público em geral verifica-se ao nível dos comandos de controlo de aparelhos electrodomésticos e/ou electrónicos. Como são invisíveis, a radiação infravermelha é uma excelente forma de transmitir informação de um ponto para outro. No entanto, são muito sensíveis aos obstáculos que possam existir entre o receptor e o emissor, pelo que só são utilizáveis para percursos relativamente curtos e dentro do campo de visão do utilizador.



Figura 51 - Comandos remotos

Os díodos emissores dos comandos à distância emitem pulsos normalmente com frequências entre os 30 MHz e os 60 MHz, utilizando radiação com comprimentos de onda superiores a 950 nm, isto é, fora do campo de sensibilidade do olho humano.

Os comandos funcionam com o princípio da modulação de frequências. Quando se pressiona um dos botões do comando, a sequência digital (constituída por zeros e uns) correspondente é modulada por um protocolo (o mais utilizado designa-se por RC5) que depende da marca do comando, numa sequência de emissões/pausas que originam a emissão de pulsos de infravermelhos na frequência característica de 30 MHz a 60 MHz. Para o receptor, enquanto recebe uma sequência de “piscadelas” do emissor, interpreta a mensagem como um sinal “ON”. Quando não se detecta nenhuma emissão, o receptor interpreta o sinal como um “OFF”. A sequência de “ONs” e “OFFs” é desmodulada pelo protocolo existente no aparelho receptor e transformada num sinal digital que, normalmente, resulta num comando electromecânico.

É o que se representa esquematicamente na Figura 52.

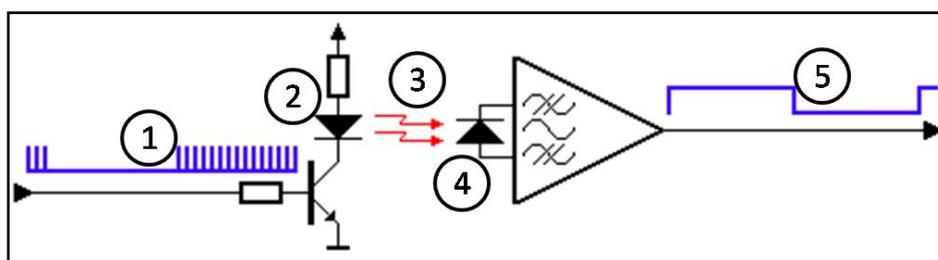


Figura 52 - Esquema do emissor de infravermelhos (Projects, 2008)

Legenda da Figura 52:

- 1- Sinal a emitir;
- 2- LED Emissor de Infravermelhos;
- 3- Radiação Infravermelha;
- 4- Diodo receptor de Infravermelhos;
- 5- Sinal recebido e desmodulado.

O sinal emitido pelo comando remoto pode ser facilmente transformado num sinal eléctrico que, se alimentado a um sensor de tensão, permite ser visualizado. O circuito do receptor utilizado é construído apenas com acessórios electrónicos muito simples e fáceis de montar. O sinal adquirido pode ser “visualizado” através de um LED visível normal, ou “ouvido” utilizando um *buzzer* que vibra consoante a sequência adquirida.

b) Descrição do Equipamento

O aparelho desenvolvido para aquisição das radiações infravermelhas emitidas por um comando remoto utiliza um diodo sensível às radiações infravermelhas para detectar as radiações emitidas pelo comando. Um transistor 2N2222A actua como amplificador de sinal, uma vez que o sinal captado pelo diodo tem uma intensidade tão baixa que a luminosidade do LED utilizado para visualizar o sinal era quase imperceptível. Utilizando este sistema de amplificação simples, não só é possível visualizar a variação de intensidade no LED como é possível fazer funcionar um *buzzer*. Em adição,

colocaram-se fichas para ligação do aparelho a um sensor de tensão, de modo a que seja possível ver as sequências emitidas pelo comando.

O circuito eléctrico deste equipamento é o seguinte:

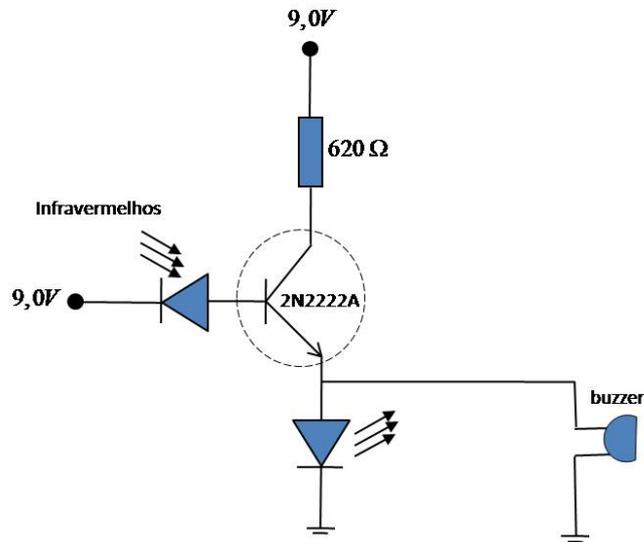


Figura 53 - Esquema do circuito para o detector de IV.

O interior do aparelho depois de montado tem a aparência seguinte:

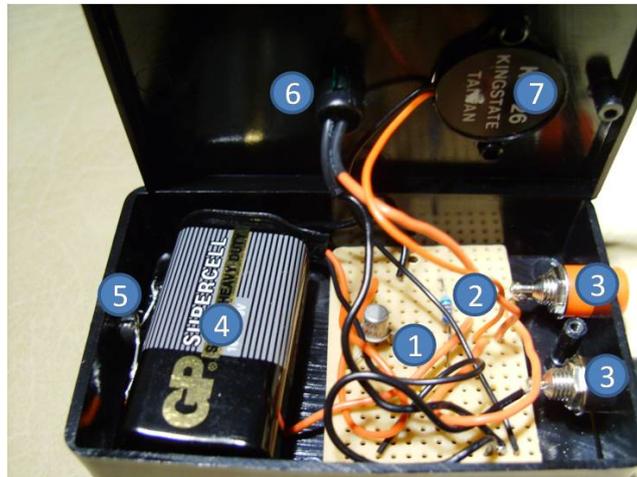


Figura 54 - Interior do aparelho detector de radiação IV

Os componentes assinalados na figura são os seguintes:

- | | |
|--|------------------------------|
| 1 – Transistor 2N2222A; | 5 – Díodo de infravermelhos; |
| 2 – Resistência de 620 Ω ; | 6 – LED verde; |
| 3 – Fichas fêmea para ligação ao sensor; | 7 – <i>Buzzer</i> . |
| 4 – Bateria de 9 V; | |

A aparência exterior do aparelho, após montagem é a seguinte:



Figura 55 - Aparência exterior do aparelho detector de radiações IV.

Apesar da sua concepção e construção muito simples, este aparelho tem também, um funcionamento muito simples podendo ser utilizados quaisquer comandos que existam nas escolas, nomeadamente de aparelhos que já tenham deixado de funcionar.

c) Aplicações e valores típicos do equipamento

Este aparelho tem uma utilidade prática: permite saber se um telecomando está a funcionar, ou se tem uma avaria no sistema emissor de infravermelhos. Como tal, é um aparelho útil em qualquer local onde se utilizem este tipo de comandos, uma vez que, por vezes, estes deixam de funcionar e não se consegue, com facilidade, determinar se a avaria é do comando ou do sistema de recepção do sinal.

Em termos didácticos, a sua aplicação é essencialmente qualitativa. Constitui uma forma de detectar radiações que estão fora do campo detectável pela visão humana, mas cuja utilização e utilidade são indiscutíveis. Por outro lado, tendo uma montagem simples e barata, apresenta uma mais-valia não tanto pelo que faz mas mais pelo que permite fazer: levar o aluno a fazer a sua construção e portanto sentir-se participante activo da actividade e logo no processo ensino-aprendizagem.

Finalmente, é possível com este equipamento demonstrar alguns dos fenómenos experimentados pela radiação electromagnética, como a reflexão e a absorção por parte de superfícies de alguns materiais.

Apresentam-se de seguida os registos obtidos com o sensor de tensão da PASCO, e registados com o programa DataStudio, de um sinal emitido por um comando de um aparelho de som, quando se pressionam diversas teclas.

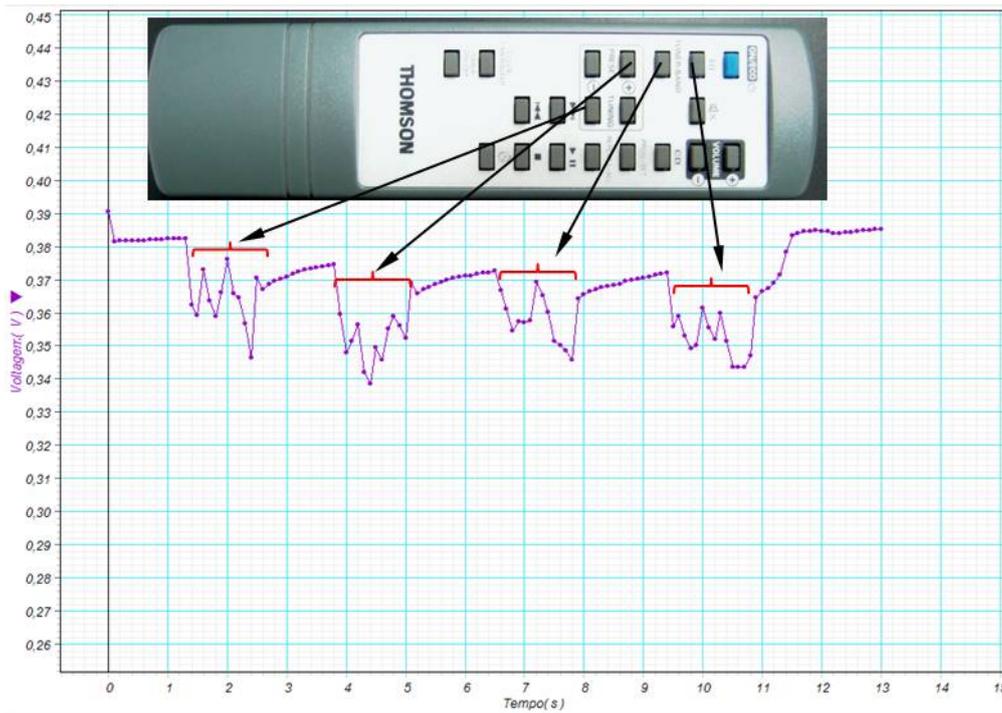


Figura 56 - Dados recolhidos pelo sensor de tensão do GLX da PASCO.

Cada tecla apresenta um impulso diferente das outras, provocando no detector variações de tensão da ordem das dezenas de milivolts.

Quando é pressionada sempre a mesma tecla, consegue-se distinguir um padrão de repetição característico dessa tecla. Para se visualizar o impulso com maior pormenor seria necessário aumentar a sensibilidade do aparelho receptor.

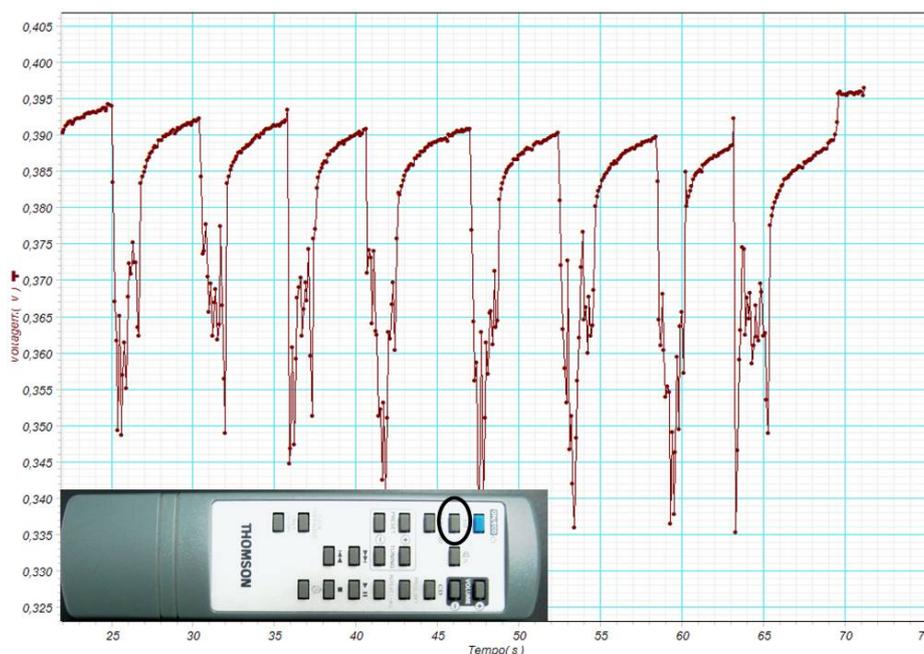


Figura 57 - Sinal registado quando se pressiona repetidas vezes a tecla assinalada.

É assim possível mostrar a codificação existente nestes aparelhos e que permite ao aparelho receptor reconhecer cada comando de uma forma individualizada, executando a respectiva tarefa.

- **Custos de construção e equipamento necessário**

Na tabela seguinte apresenta-se a listagem do material necessário para a construção deste aparelho, bem como a indicação do local onde o mesmo pode ser adquirido.

Tabela 5 – Lista de material necessário para os aparelhos receptores de infravermelhos

Quantidade	Descrição	Preço/ unidade	Referencia	Fornecedor
1	Resistência de 620 Ω , 0,66 W	0,04 €	132-444	pt.rs-online.com
1	Transistor 2N2222A	0,51€	295-028	pt.rs-online.com
1	Fotodíodo de Infravermelho	1,70€	195-681	pt.rs-online.com
1	LED painel verde	1,33€	209-046	pt.rs-online.com
1	Placa com pistas de cobre	8,35€	434-217	pt.rs-online.com
1	Fichas Fêmea para ligação de banana	0,62€	433-3348	pt.rs-online.com
1	Suportes de Ligação para pilhas de 9V	0,40€	489-021	pt.rs-online.com
1	Pilhas de 9 V (10 unidades)	2,66€	514-5228	pt.rs-online.com
1	Caixa plástica com baia para bateria	17,73€	584-592	pt.rs-online.com

O custo total deste projecto é assim de cerca de 35,00€. No entanto, o acessório mais caro é a caixa que, como se referiu, num projecto feito por alunos, pode ser substituída por uma caixa reciclada, o que faz com que o equipamento fique pelos 15,00€.

- **Sugestões**

Este equipamento é uma versão protótipo para utilização didáctica nas escolas. As versões que podem ser construídas pelos alunos são mais simples cujas sugestões de alteração se apresentam de seguida.

Na versão a construir pelos alunos são dispensáveis as fichas fêmea para ligação dos sensores. A eliminação destas fichas facilita a montagem e torna-a ainda mais económica. A caixa a utilizar não necessita ser comprada para o efeito. Na verdade, os alunos podem utilizar, por exemplo, as pequenas caixas fornecidas pelas ourivesarias quando se adquirem objectos em ouro para oferta. A reutilização de materiais é assim fomentada, com a respectiva repercussão ao nível dos custos.

Em termos de robustez, o aparelho construído apresenta-se adequado ao nível étario dos utilizadores a que se destina. Seria interessante que o painel superior do equipamento fosse transparente, para eliminar o efeito da caixa negra, que pode contribuir para o surgimento ou reforço de concepções alternativas juntos dos alunos,

especialmente os de faixa etária mais baixa. Este efeito é particularmente útil ao nível do 3.º Ciclo, nomeadamente no tema organizador Viver Melhor na Terra, no qual os circuitos eléctricos e electrónicos são abordados, pedindo ao aluno que consiga identificar os componentes electrónicos presentes nestes aparelhos.

d) Sugestões Didácticas

Como já se referiu, este aparelho tem uma construção muito simples e económica, podendo ser utilizada no 9.º ano para desenvolver nos alunos competências de manipulação dos instrumentos de montagem de circuitos electrónicos, nomeadamente no âmbito do tema organizador “Viver melhor na Terra”, na temática “Sistemas eléctricos e electrónicos”. Pretende-se que nesta temática os alunos sejam capazes de montar circuitos electrónicos simples com diodo, transístor, potenciómetro, condensador e termistor de modo a estudar as características e a função de cada um destes componentes.

Ainda dentro da mesma unidade, a comunicação de informação utilizando a radiação infravermelha pode ser utilizada para ir ao encontro de pesquisas sobre diferentes sistemas de comunicação baseados na electrónica e sobre o modo como a informação é enviada e a que distâncias (por ex., comunicação através de satélite ou comunicação espacial, entre as estações orbitais e a Terra). O envolvimento do aluno na construção do equipamento, o contacto com as diversas ferramentas necessárias à construção do mesmo, constituem uma mais-valia para o processo de ensino / aprendizagem, pois estimula a curiosidade, pode despertar vocações assim como contribuir para tornar a aprendizagem mais interessante e significativa.

Ao nível do 11.º ano de Física e Química A, este aparelho pode contribuir para uma melhor contribuição da utilização dos sinais digitais, bem como da sua transmissão à distância. O programa sugere a seguinte actividade:

- Utilização da calculadora gráfica ligada a um sensor de luz para observar um sinal digital resultante da passagem de um cartão com fendas, simulando um código de barras” cujo objectivo é:
“(…) verificar se o aluno é capaz de:
- distinguir um sinal analógico de um sinal digital
- associar um sinal analógico a uma função contínua no tempo
- associar um sinal digital a uma série de impulsos num sistema binário”

(I. Martins et al., 2001)

Esta actividade sugerida pelo programa pode ser substituída por uma actividade em que se utiliza este detector, nomeadamente ligando-o à máquina de calcular gráfica, uma vez que esta também possui um sensor de tensão.

4.4. Sonómetro

a) Anotações e referências

A descrição de um fenómeno acústico implica o conhecimento da pressão acústica em todos os pontos do espaço considerado, assim como a velocidade das partículas em todas as direcções. Estes fenómenos só ficam devidamente caracterizados com o conhecimento destas duas grandezas, embora a pressão seja de medição mais fácil.

A intensidade dos sons varia desde o quase imperceptível, ao insuportável, apresentando assim uma grande variação de propriedades entres estes dois extremos. São muitas as grandezas físicas apropriadas para medir estas variações tão grandes. Tendo em atenção que as ondas sonoras se propagam em função das propriedades elásticas do meio, originando com a sua passagem perturbações nas partículas desse meio, a medição da amplitude da oscilação das partículas poderá ser uma forma de caracterizar as ondas sonoras. No entanto, a amplitude de deslocamento das partículas é muito pequena para as ondas sonoras normais pelo que a sua medição seria muito difícil. Outra hipótese é a medição da amplitude das velocidades, que corresponde à maior velocidade que as partículas atingem com a propagação das ondas, mas a sua medição directa também se mostra difícil. Finalmente, a pressão também sofre alteração quando passa uma onda sonora. A pressão é uma grandeza de fácil medição pelo que as ondas sonoras podem ser caracterizadas pela amplitude de pressão, que mede a maior variação de pressão acima e abaixo da pressão atmosférica.

A energia da oscilação é proporcional ao quadrado da amplitude. Deste modo, quando referimos a intensidade sonora deve ser especificado se é em função da amplitude ou da energia.

No entanto, quer a intensidade sonora quer a pressão acústica apresentam uma grande gama de variação dentro do intervalo audível pelo ouvido humano, o que torna a sua utilização pouco prática numa escala linear. Esta limitação pode resolver-se com alguma facilidade se se passarem a utilizar escalas logarítmicas. Assim surge o **decibel (dB)**, um décimo de um **bel**.

O decibel é uma unidade logarítmica de escala, cuja definição geral é:

$$D = M \cdot \log_b \frac{A}{A_0} \quad (0.12)$$

em que M representa um factor multiplicativo, b a base do logaritmo considerado e A_0 uma quantidade de referência da quantidade A .

Esta alteração de escala permite representar valores de grandezas com grandes variações de amplitude, facilitando a sua manipulação e interpretação. Finalmente, há uma razão fisiológica para a utilização desta escala: a resposta do nosso ouvido às perturbações acústicas é do tipo logarítmica e não linear.

As diversas formas de definir o decibel são:

- Nível de intensidade sonora:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (0.13)$$

na qual I_0 é o valor de referência, que por convenção tem o valor $I_0 = 10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$.

- Nível de potência acústica:

$$L_W = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0} \quad (0.14)$$

na qual P_0 é o valor de referência, que por convenção tem o valor $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$.

- Nível de pressão sonora

$$L_P = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad (0.15)$$

na qual p_0 é o valor de referência, que por convenção tem o valor $p_0 = 2 \times 10^{-5} \text{ N.m}^{-2}$.

Os valores de referência foram convencionados em 1937, ficando decidido que o zero decibel (0 dB) corresponderia ao limiar da audibilidade humana, para um som com a frequência de 1000 Hz.

O factor multiplicativo aplicado nas expressões anteriores é umas vezes igual a 10 e, no caso da pressão sonora, igual a 20. Isto deve-se ao facto de ser necessário compatibilizar as expressões de base que definem o decibel, relacionadas com a energia, com as definições baseadas na amplitude de grandezas físicas elementares, tal como a pressão (Henrique, 2002).

Pelo que foi dito, podemos afirmar que o nível de pressão sonora é uma medida da sensação sonora (uma vez que está numa escala compatível com a sensibilidade do ouvido humano), enquanto que a pressão sonora é uma medida da excitação provocada pelo som no meio de propagação. Deste modo, quando se pretende duplicar a sensação sonora, é necessário aumentar 10 vezes a pressão sonora.

b) Descrição do equipamento

Como se viu na secção 2.2.2. a), o microfone transforma as variações de pressão provocadas pela onda sonora, num sinal eléctrico. Este sinal eléctrico pode depois ser manipulado electronicamente para ser utilizado num aparelho que meça o nível de pressão sonora, em dB. É este o princípio que norteou o projecto deste aparelho. Na

verdade, utilizando diversos componentes electrónicos, o aparelho está preparado para operar em dois modos diferentes:

- Monitorização e medição do nível de pressão sonora, entre os 0 dB e os 100 dB;
- Registo do valor máximo do nível de pressão sonora, durante um intervalo de tempo.

Para isso, o sonómetro possui um selector e um interruptor de pressão: quando está seleccionado o modo de registo de máximo, pressiona-se o interruptor para “rearmar” o sistema, colocando o ponteiro a zero, e ficando pronto para registar um novo valor máximo captado no microfone. No modo de medição contínua, o ponteiro oscila conforma o som que o microfone capta, dando a ideia de quais os sons de maior intensidade e os de menor intensidade. No aparelho construído, optou-se por colocar os terminais de ligação à bateria de 9 V no exterior do aparelho, uma vez que este está preparado para alimentação a partir de um transformador, pelo que a utilização da bateria será apenas uma solução de recurso. Quando se liga o aparelho, acende-se um LED verde. Trata-se de uma medida de sinalização que diminui o risco de se deixar o equipamento acidentalmente deixado ligado durante longos períodos de tempo.

O aparelho tem a seguinte aparência:



Figura 58 - Sonómetro em condições de funcionamento.

Legenda:

- | | |
|--|--------------------------------------|
| 1 – Selector do modo de funcionamento; | 6 – Bateria de 9V; |
| 2 – Interruptor de pressão; | 7 – Microfone; |
| 3 – Selector de <i>on / off</i> ; | 8 – Ficha <i>Jack</i> para microfone |
| 4 – LED indicador da posição <i>on</i> ; | 9 – Ficha alimentação. |
| 5 – Mostrador com graduação logarítmica; | |

posicionamento dos componentes, o roteamento e a edição dos componentes a utilizar. Elabora ainda um documento que pode ser utilizado na fabricação e na montagem dos componentes na placa.

Após a elaboração do desenho do circuito, recorreu-se a um equipamento de fabricação das placas, denominado *ISOCAM*, que tem frezas *Bungard ccd/2* cuja função é abrir sulcos na placa coberta com cobre, de modo a isolar as pistas do resto da placa.

A abertura dos sulcos produz as pistas previstas no esquema da **Erro! A origem da referência não foi encontrada.** Finalmente passa-se à fase de montagem e soldagem dos componentes na placa de circuito impresso, recorrendo a um segundo esquema, gerado pelo *Utilboard*, que mostra o local de montagem dos diversos componentes.

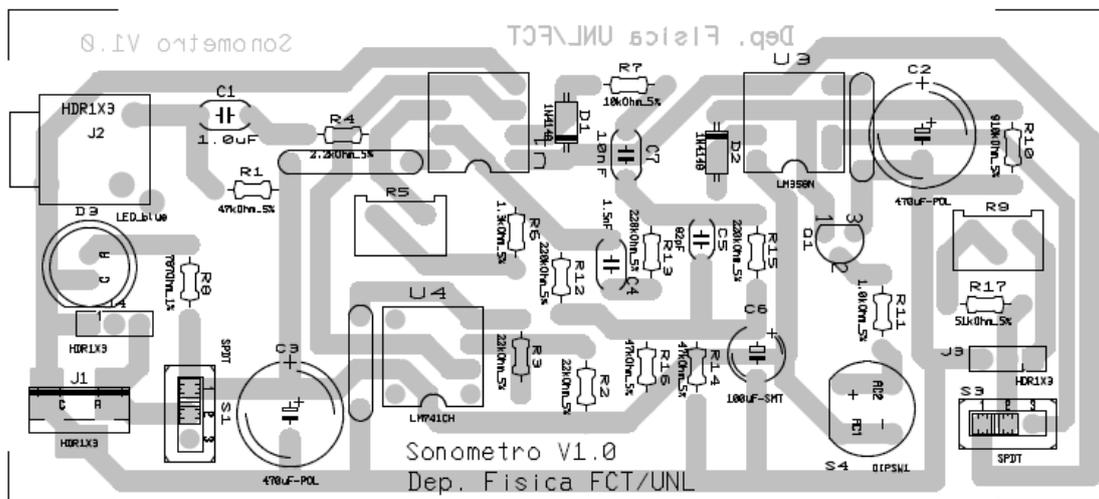


Figura 60 - Esquema da localização dos acessórios no circuito impresso.

As dimensões destas placas vão limitar a escolha da caixa para o aparelho, uma vez que o tamanho da placa não é passível de ser alterado. Outro aspecto a ter em conta é a altura da caixa que deve permitir alguma distância entre os acessórios montados na placa de circuito impresso e os acessórios a fixar na tampa do aparelho.

Depois de devidamente montados todos os acessórios, o interior do sonómetro ficou como se apresenta na figura seguinte.



Figura 61 - Interior do Sonómetro após a montagem de todos os acessórios.

Com a finalização do “Projecto em Física Experimental”, todas as instruções necessárias à montagem de um aparelho destes estará *online* e à disposição de quem o quiser replicar. A sua montagem não é, no entanto, simples como no caso do aparelho de infravermelhos: exige cuidados redobrados na montagem dos acessórios na placa do circuito. O fabrico da placa também não se afigura simples: com os esquemas fornecidos pode ser encomendada a uma empresa da especialidade, o que encarece o projecto. No âmbito do projecto referido, estarão disponíveis contactos da FCTUNL que permitem adquirir algumas placas de forma mais acessível.

Ainda no âmbito do referido projecto, está em curso o desenvolvimento de um processo de fabrico das placas de circuito impresso recorrendo a um processo fotoquímico, que permite retirar o cobre que recobre a placa, com excepção do que está no local das pistas pretendidas. Este processo, da responsabilidade de Bruno Rosa⁵, ficará também completamente descrito na página *online* do projecto, nomeadamente os acessórios e reagentes necessários, bem como os cuidados de segurança imprescindíveis para a actuação necessária.

c) Aplicações e valores típicos do equipamento

Este aparelho tem aplicação em actividades desde o primeiro ciclo até ao ensino secundário. Tem ainda uma aplicação interdisciplinar, uma vez que pode ser utilizado no âmbito de projectos de medição de ruído em diversas zonas da escola ou da sua envolvente. Na posição que regista o máximo de ruído medido num determinado intervalo de tempo, dará uma boa indicação do nível de ruído que por vezes se verifica em locais onde se juntam muitas pessoas.

⁵ Bruno Rosa é finalista de Engenharia Física e participa no projecto como Técnico de Engenharia para o Desenvolvimento de Protótipos.

Pode associar-se às medições efectuadas com recurso a um computador, de modo a associar o ruído produzido com os sons que lhe dão origem. Softwares como o *Audacity*, *freeware* disponível *online*, ou o *Wave Sound Capture*, da PASCO podem ser utilizados para fazer este estudo comparativo.

- Custos de construção e equipamento necessário

Na tabela seguinte apresenta-se a listagem do material necessário para a construção deste aparelho, bem como a indicação do local onde o mesmo pode ser adquirido.

Tabela 6 – Lista de material necessário para o sonómetro

Quantidade	Descrição	Preço/ unidade	Referencia	Fornecedor
3	Fichas de Ligação, HDR1X3	0,62 €	189-6571	pt.rs-online.com
2	Interruptores, SPDT	1,94 €	337-481A	pt.rs-online.com
1	Resistência, 2.2k Ω 0,66 W	0,04 €	132-573	pt.rs-online.com
2	Resistência, 22k Ω 0,66W	0,04 €	132-810	pt.rs-online.com
2	Diodo, 1N4148	0,07 €	446-8551	pt.rs-online.com
1	BJT_NPN, 2N3904	0,14 €	294-312	pt.rs-online.com
1	Resistência, 10k Ω 5%	1,18 €	487-7157	pt.rs-online.com
1	Interruptor, DIPSW1	5,03 €	204-8054	pt.rs-online.com
1	Resistência, 1.1 k Ω 0,66 W	0,04 €	132-501	pt.rs-online.com
2	Condensador, 470 μ F-POL	0,21 €	228-6672	pt.rs-online.com
3	Resistência, 220k Ω 5%	1,18 €	487-8582	pt.rs-online.com
1	Condensador, 82pF	1,70 €	495-739	pt.rs-online.com
1	Condensador, 100 μ F-SMT	0,42 €	536-9792	pt.rs-online.com
3	Resistência, 47k Ω 0,66W	0,04 €	131-457	pt.rs-online.com
1	OPAMP, LM741CH	0,58 €	298-7606	pt.rs-online.com
1	Condensador, 1.5nF	0,22 €	211-2717	pt.rs-online.com
1	Trimmer, 10 Ω _LIN	1,74 €	375-786	pt.rs-online.com
1	Resistência, 51k Ω 5%	0,04 €	132-905	pt.rs-online.com
1	Trimmer 10K Ω _LIN	2,84 €	521-9192	pt.rs-online.com
1	Condensador, 10nF	0,10 €	484-8109	pt.rs-online.com
1	Condensador, 1.0 μ F	0,07 €	228-6846	pt.rs-online.com
1	Resistência, 910k Ω 0,66W	2,11 €	487-8807	pt.rs-online.com
1	LED painel verde	2,25 €	355-6809	pt.rs-online.com
1	Resistência, 750 Ω 0,33W	0,04 €	132-466	pt.rs-online.com
1	OPAMP, LF353N	0,94 €	356-4462	pt.rs-online.com
1	OPAMP, LM358N	0,50 €	856-724	pt.rs-online.com
1	Resistência, 1.3k Ω 5%	0,04 €	132-523	pt.rs-online.com
1	Amperímetro de painel, 0-10mA	10,10 €	258-322	pt.rs-online.com
1	Caixa com baía para pilha de 9V	14,14 €	219-330	pt.rs-online.com
1	Terminal para pilhas de 9V	0,40 €	489-021	pt.rs-online.com

O custo deste equipamento é de cerca de 95,00€, enquanto o equipamento mais acessível disponível no sítio da RS onde se pode fazer a aquisição dos acessórios tem o valor de 312,00€ (253-210 – pt.rs-online.com).

- **Sugestões**

Como todos os outros, também este equipamento é um protótipo em desenvolvimento, pelo que necessita de algumas melhorias nas versões posteriores. Um dos pontos a melhorar é o facto de não se conseguir que o ponteiro indique o zero, ainda que em situações de silêncio absoluto. Por outro lado, os 100 dB são atingidos com alguma facilidade.



Figura 62 - Tabela de pressão sonora, em dB.

Como se pode ver nesta tabela, os 100 dB são já uma situação extrema de ruído, pelo que não deve ser alcançada com grande facilidade, com um assobio, por exemplo. Será pois necessário rever os limites impostos ao aparelho e fazer uma calibração dos valores indicados, recorrendo a um sonómetro comercial.

Em termos de robustez, o aparelho apresenta-se adequado ao nível etário dos utilizadores a que se destina. Poderia ser interessante que o painel superior do equipamento fosse transparente, para ser utilizado quando se pede aos alunos de 9.º ano que identifiquem acessórios electrónicos, uma vez que neste aparelho são utilizados acessórios de diversos tipos.

d) Sugestões Didácticas

Como se referiu, este aparelho pode ser utilizado desde o 1.º ciclo até ao ensino secundário. No 1.º ciclo pode ser utilizado pelos docentes para mostrarem aos seus alunos as diferenças entre o ruído produzido numa sala de aula ordeira e calma, e a sala de aula em que os alunos são muito conversadores. Este método tem sido utilizado com algum sucesso em aulas do 1.º e 2.º anos, uma vez que os alunos ficam sensibilizados para o facto de o ruído que produzem poder ser comparado ao de uma rua cheia de trânsito.

No terceiro ciclo é estudado o som no tema organizador “Sustentabilidade na Terra”, sugerindo-se:

“Os alunos podem medir os níveis sonoros nas diversas zonas da escola, usando um sonómetro. É importante discutir os problemas de audição que surgem quando há exposição a fontes sonoras com intensidade elevada, recorrendo-se, se tal for possível, à colaboração de um médico (de acordo com a evidência médica, se se conseguir ouvir música proveniente de um walkman a uma distância de dois metros, pode haver distúrbios auditivos para quem o tiver junto do ouvido).”

(Galvão et al., 2001)

Ao nível do 11.º ano, o sonómetro pode ser utilizado em associação com aparelhos que monitorizem as características do som. O sonómetro pode ainda ser utilizado em Matemática, para mostrar a utilidade da função logaritmo, bem como a utilidade da mudança de escala. Nas Ciências da Natureza e na Biologia, ficando o problema da higiene auditiva, e nestes casos, a utilização do sonómetro pode mostrar-se útil para demonstrar a razão dos maus tratos provocados pelos auriculares de música nos ouvidos e restante sistema auditivo.

Em escolas onde existam clubes de ambiente, são efectuados estudos de ruído que podem ser feitos com recurso ao sonómetro. O ruído é aliás, um dos temas base, anualmente trabalhado, no âmbito do projecto Eco-Escolas.

5. Conclusões e Sugestões

Em 1952, Rómulo de Carvalho cita João Carlos da Silva, tradutor do livro da autoria do padre Noel Regnault: “Origem antiga da Física moderna”, num artigo publicado na Gazeta da Física:

“O estado deplorável em que as Ciências se encontravam entre nós, os prejuízos que o atraso nos conhecimentos científicos nos poderia acarretar, afastando-nos do nível alcançado por outras Nações, e a necessidade urgentíssima de pôr cobro a situação criada.”(Carvalho, 1952).

Apesar de ter sido feita há 55 anos, esta afirmação não podia ser mais actual. A competência científica dos portugueses é muito reduzida, especialmente quando comparada com os restantes países da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Económico). Testes internacionais, aplicados desde o ano 2000, aos diversos países da OCDE mostram claramente que em Portugal os jovens têm fracos conhecimentos em ciência e em matemática, não tendo desenvolvido as competências mínimas nestes dois domínios. Os testes PISA (Programme for International Student Assessment da OCDE), aplicados desde o ano 2000, têm deixado Portugal em lugares pouco meritórios, no ranking dos países participantes, entre os quais de encontram alguns com índices de desenvolvimento económico e social inferiores aos nossos.

Perante este estado de coisas, o sistema educativo português tem tentado alterar a sua atitude normativa, efectuando revisões curriculares cujo objectivo (ou pelo menos um deles) é o desenvolvimento da proficiência científica dos jovens, para que as prestações internacionais mudem a sua negra tendência.

Exemplo do que se afirmou é a alteração de paradigma verificado nos novos programas de Física e Química A do 10.º e do 11.º ano do Ensino Secundário: faz-se uma aposta no ensino experimental, numa metodologia integradora da Ciência, da Tecnologia e da Sociedade, procurando o aprofundamento de aprendizagens significativas sobre temáticas que os jovens sintam como próximas do seu dia-a-dia. A alteração verificada na duração das aulas, que passaram de 50 para 90 minutos, permite uma maior variação nos ritmos de aprendizagem e a utilização de uma maior variedade de recursos, facilitando as aulas menos expositivas porque permitem a utilização de demonstrações e/ou experimentação no decurso da aula. Pretende-se que as aulas sejam um espaço de discussão de ideias, que façam surgir a necessidade do aprofundamento dos conceitos, mas que sejam também um espaço de desenvolvimento de competências, integrando a observação, a manipulação de material de laboratório, mas também de variáveis e grandezas físicas, e as TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação).

Recupere-se a opinião de Rómulo de Carvalho: “Parece fora de dúvida que uma das razões de maior peso na deficiência ou eficiência dos resultados do ensino da Física provém do modo como ele se ministra e se assimila nos primeiros anos do convívio com esses estudos.”(Carvalho, 1952). Ao que parece, mais de 50 anos não foram suficientes

para alterar estas situações, apesar do investimento feito quer em equipamentos, quer em formação e em instalações.

Este trabalho pretendeu dar um contributo para a alteração do estado do ensino das ciências, demonstrando que é possível ensinar com recursos limitados, e recorrendo algumas vezes a doses extra de imaginação. Todos os equipamentos apresentados podem ser desenvolvidos por alunos e por professores, utilizando na grande maioria dos casos ferramentas e recursos que as escolas já dispõem.

Com as propostas feitas à volta da garrafa de PET pretendeu-se sugerir a construção de pequenas peças que servissem para desenvolver as competências nos alunos do ensino básico e que sirvam para aulas por observação nos níveis de ensino mais altos. Pretendeu-se ainda sugerir uma actividade laboratorial interessante para o 12.º ano de Física, num domínio para o qual não há muitas possibilidades de baixo custo.

Quanto aos equipamentos adquiridos nas lojas chinesas, pretendeu-se dar uma ideia de que nem sempre são necessários grandes orçamentos para se fazerem grandes demonstrações e/ ou simulações. O grande problema destas lojas são os *stocks* que não são estáveis e os itens disponíveis são muito variáveis ao longo do tempo, o que pode por em causa a reprodutibilidade de algumas sugestões. No entanto, a ideia base é a da utilização da imaginação, com base nos materiais disponíveis em cada momento nas lojas visitadas.

Os resultados experimentais obtidos com os aparelhos “*Hight Tech*” mostram que estão de acordo com a especificação para a qual foram desenvolvidos: apresentam-se dentro dos valores esperados pelas previsões teóricas, ou pelos aparelhos similares comercializados por empresas de equipamento didáctico. O desenvolvimento de competências ao nível da manipulação de equipamento electrónico constitui aqui uma motivação adicional: a grande maioria dos professores não possui nem formação inicial, nem contínua neste domínio, pelo que a construção destes equipamentos muito simples pode ser uma mais-valia ao nível do desenvolvimento de competências.

Pretende-se assim que haja um afastamento claro das aulas puramente expositivas, mas que se faça um investimento de aprendizagem e aplicação em aulas onde os conceitos surjam como uma necessidade perante os fenómenos que se está a analisar, e não como um cardápio de fórmulas e expressões matemáticas que dificilmente farão sentido para os jovens estudantes. Aliás, esta era a metodologia em prática antes da Revisão Curricular, e cuja prática tem sido difícil alterar nos docentes da disciplina. Mais uma vez, Rómulo afirmou, há 55 anos atrás: “A novidade do programa que, para nós, é extremamente grata reside na condenação quase total do ensino das expressões matemáticas que sintetizam leis quantitativas e a que é usual chamar «fórmulas». A novidade tem o seu quê de impressionante por ir perturbar hábitos de pensamento e de processos que nem todos entenderão ser conveniente modificar.” A actualidade destas afirmações deveriam fazer corar alguns (muitos) docentes de Física actuais.

A construção destes equipamentos partilhada por professores e alunos constitui uma forma de estimular a prática mais experimentalista, permitindo a aprendizagem simultânea, embora não equiparada, de docentes e de discentes. Para isso, pode recorrer-se às áreas curriculares não disciplinares de Área de Projecto, quer no ensino básico, quer no secundário. Assim, é possível potenciar-se o desenvolvimento de competências mas também as aprendizagens de conceitos muitas vezes mais além do que é estipulado pelos programas, uma vez que decorrem da necessidade de resolver um problema. Refiro o caso de um aluno que sabia praticamente tudo sobre máquinas térmicas, uma vez que teve de estudar esta temática para poder arrefecer o seu computador com o compressor de um frigorífico, de modo a aumentar a velocidade de processamento: mantinha-o a uma temperatura de -27°C .

A conclusão do “Projecto em Física Experimental” poderá dar um sério contributo para que as escolas possam desenvolver projectos atraentes para os alunos de ciências em geral, de Física em particular, aproveitando para se equiparem com aparelhos versáteis, robustos e de baixo custo, que permitam mostrar os fenómenos, em vez de os desenhar ou esquematizar nm quadro. Os equipamentos propostos têm em conta os conteúdos programáticos experimentais dos novos programas, procurando desenvolver equipamentos para os quais não estejam previstas actividades experimentais obrigatórias. Conseguem-se assim extras para aulas por observação, o que as torna mais interessantes, motivadoras e potenciadoras de aprendizagens significativas.

Uma linha interessante a desenvolver, será a análise de brinquedos comercializados para fins lúdicos mas que podem ser utilizados para observação em aula de diversos fenómenos e leis da Física. Estes brinquedos, disponíveis em muitos Países da Europa e nos Estados Unidos da América, chegam finalmente aos circuitos comerciais portugueses, o que baixa significativamente o seu custo. Devem por isso constituir uma alternativa aos equipamentos didácticos mais caros comercializados pelas empresas da especialidade e, conseqüentemente, apresentarem-se como uma alternativa ao alcance dos orçamentos das escolas.

Referências Bibliográficas

- Abrantes, P. (2001). *Curriculo Nacional do Ensino Básico - Competências Essenciais*. Lisboa: Ministério da Educação - Departamento da Educação Básica.
- Ausubel, D. P. (2002). *Adquisición y retención del conocimiento. Uma perspectiva cognitiva.*: Paidós.
- Betisey, M. (2007). *Création de pièces d'art montrant le temps qui passe.* . from <http://www.betrisey.ch/leon.htm>
- Carvalho, R. d. (1947). *Acerca dos trabalhos práticos de Física nos liceus*. *Gazeta de Física*, 39-41.
- Carvalho, R. d. (1952). *Considerações sobre o ensino elementar da Física* (Vol. II). Lisboa: Sociedade Portuguesa de Física.
- Electrophysics. (2008). *A bit of History about Infrared*. from http://www.electrophysics.com/View/View_TechPrimer_InfraredTutorial.asp
- Fiolhais, M., Cardoso, E., Paixão, J. A., Sousa, M. d. C. A. e., & Nogueira, R. (2004). *Programa de Física - 12º ano*: Ministério da Educação - Direção-Geral de Inovação e de Desenvolvimento Curricular.
- Galvão, C., Neves, A., et al. (2001). *Ciências Físicas e Naturais - Orientações Curriculares - 3º Ciclo*. Lisboa: Ministério da Educação - Departamento da Educação Básica.
- Group, E. W. *National Instruments* from <http://www.electronicworkbench.com/worldwide/uk/>
- Guerra, D., Plaisted, A., & Smith, M. (2005, October 2005). *Bernoulli's Law Lab in a Botle*. *The Physics Teacher*, 43, 456-459.
- Hayes, J. (1981). *The Complete Problem Solver*: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Henrique, L. L. (2002). *Acústica Musical*. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian.
- Jones, B. F., Rasmussen, C. M., & Moffit, M. C. (1997). *Real-life problem solving: A collaborative approach to interdisciplinary learning*. Washington DC: American Psychological Association.
- Leite, L., Caetano, H. V., & Santos, M. G. (2001). *Contributos para uma utilização mais fundamentada do trabalho*. In M.-. DES (Ed.), *Cadernos Didáticos de Ciências* (Vol. 1, pp. 79-97). Lisboa.
- Martins, A., Martins, D. R., et al. (2002). *Livro Branco da Física e da Química: Sociedade Portuguesa de Física* Sociedade Portuguesa de Química.
- Martins, I., Costa, J. A. L., et al. (2001). *Programa de Física e Química A - 10º Ano*. Lisboa: Ministério da Educação - DES.
- Martins, I. P., Costa, J. A. L., et al. (2003). *Programa de Física e Química A - 11º Ano*. Lisboa: Ministério da Educação - Departamento do Ensino Secundário.
- Polya, G. (1945). *How to Solve It*. New Jersey: Princeton University Press.
- Projects, S.-. (2008). *IR Remote Control Theory*.
- Ribeiro, C. (1997). *O trabalho experimental em ciências*. Lisboa: Plátano Editora.
- SPF, S. P. d. F.-. (2000). *Olimpíadas de Física*.
- Thomas, J. (2000). *A Review of Research on Project-Based Learning* [Electronic Version] from <https://www.bie.org/files/researchreviewPBL.pdf>.
- Thomas, J., & Mergendoller, J. R. (1999). *Managing project-based learning: Principles from the field*. Paper presented at the Annual Meeting of the American Educational Research, New Orleans.

- Tobin, K., Tippins, D., & Gallard, A. (1994). *Research on instructional strategies for teaching Science*: MacMilliam Publishing Company.
- UNESCO. (1979). *New UNESCO source book for science teaching*. Paris: UNESCO.
- Walpole, B. (1993). *Movimento*. São Paulo: Melhoramentos Intercultura.
- Watts, G. (1989). *The New Learning: Research, Development and Reform os School Science Education*. *Studies in Science Education*, 75-121.
- Wikipedia, c. (2007). *Optical fiber*. Retrieved 31 Dezembro, 2007, from http://en.wikipedia.org/wiki/Optical_fiber
- Wikipedia, c. (2008). *Barometer*.